



EESTI MAAÜLIKOOL
Tartu Tehnikakolledž

Lauri Leivits

KONVEIERIGA KOOSTÖÖROBOTI ÕPPERAKK
COBOT EDUCATIONAL CELL WITH CONVEYOR

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö

Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: Indrek Virro, *MSc*

Tartu 2020

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrghariduse lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Lauri Leivits		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: KONVEIERIGA KOOSTÖÖROBOTI ÕPPERAKK			
Lehekülgi: 60	Jooniseid: 32	Tabeleid: 3	Lisasid: 2
Osakond: Tartu Tehnikakolledž			
Uurimisvaldkond:			
ETIS teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika			
Juhendaja(d): Indrek Virro, MSc			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2020			
<p>Tehastes, laborites, kauplustes suureneb nõudlus paindlikkuse järele, kasvava automaatika ja tööstus sektori eesmärgiks on kombineerida masina kiirus, täpsus, tõhusus ja inimeste oskus probleeme lahendada. Eesti Maaülikool on hankinud koostööroboti UR3 õppetöösse, mille kasutatavust on võimalik suurendada. Töö eesmärk on anda lisa võimalus õppeaine Robotitehnika põhikursuse TE.0959 läbiviimiseks. Töö käigus projekteeriti koostööroboti õpperakk konveieriga, paralleelhaarats ja vaakumhaarats. Õpperakk on mõeldud üliõpilaste praktilise kogemuse hankimiseks, automaatika ja tööstus valdkonnas. Lõputöö käigus valmis jälgimissüsteemiga konveier, pneumaatiline paralleel haarats ja vaakumhaarats. Jätkuuringutes saab välja töötada erinevaid haaratsi prototüüpe, arendada UR3 masinnägemist protsessi automatiseerimiseks ja suurendada UR3 haardeulatust.</p>			
Märksõnad: koostöörobot, UR3, haarats, mehhatroonika, masinaehitus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Abstract of Professional Higher Education Thesis	
Author: Lauri Leivits		Speciality: Technotronics	
Title: COBOT EDUCATIONAL CELL WITH CONVEYOR			
Pages: 60	Figures: 32	Tables: 3	Appendixes: 2
Department: Tartu Technology College Field of research: ETIS 4. Natural Sciences and Engineering Supervisors: Indrek Virro, MSc Place and date: Tartu, 2020			
<p>In factories, laboratories, and shops, the demand for flexibility is increasing, and the aim of the growing automation and industrial sector is to combine machines' speed, accuracy, and efficiency with people's ability to solve problems. Estonian University of Life Sciences has acquired a cooperation robot for UR3 teaching, the usability of which can be increased. The aim of the thesis is to provide additional opportunities for conducting the basic course TE.0959 in the subject of Robotics. In the course of the work, the learning cell of the cooperation robot was designed with a conveyor, a parallel gripper, and a vacuum gripper. The aim of the study cell is to offer students the opportunity to gain practical experience in the field of automation and industry. A conveyor with a tracking system, a pneumatic parallel gripper, and a vacuum gripper has been created during the study. Further research can develop different gripper prototypes, develop UR3 machine vision to automate the process, and increase UR3 reach.</p>			
Keywords: cobot, UR3, gripper, mechatronics, mechanical engineering			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1 ÜLEVAADE TEMAATIKAST	7
1.1 Koostööroboti kirjeldus	7
1.1.1 Koostööroboti kujunemine	7
1.1.2 Koostöörobot	8
1.1.3 Koostöörobot UR3	9
1.1.4 Koostöörobotite ja tööstusrobotite ohutus ja koostöövõime võrdlus	10
1.1.5 UR3 programmeerimine	12
1.1.6 Koostööroboti ohutuse tüübid	12
1.1.7 Ülevaade koostöörobotite ja traditsiooniliste tööstusrobotite turust	13
1.2 Haaratsid	14
1.2.1 Haaratsite tüübid	14
1.2.2 UR3 Haaratsid	15
1.2.3 Vaakumhaarats	16
1.3 Konveierite ülevaade	18
1.3.1 Konveierite jaotus	18
1.3.2 Lintkonveierid	18
2 ARENDUSED KONVEIERIGA KOOSTÖÖROBOTI ÕPPERAKULE	20
2.1 Koostööroboti õpperakk	20
2.1.1 Kitsendused	20
2.1.2 Konveieri projekteerimine	21
2.1.3 Konveieri arvutused	27
2.1.4 Elektriskeemi koostamine	30
2.1.5 Paralleel haarats ja vaakum haarats	32
2.1.6 Konveieriga koostööroboti kasutamine	33
3 LABORTÖÖD	34
3.1 Labortöö väljatöötamine	34
3.1.1 Labortöö 1 ideede genereerimine	34
3.1.2 Labortöö 2 ideede genereerimine	34
3.1.3 Edasiarenduste ettepanekud konveieriga koostööroboti õpperakule labortööde arendamiseks	35
4 PROTSESSI JA TULEMUSTE ARUTELU	36
4.1 Konveieriga koostöörobotraku tulemused	36
4.1.1 Konveieriga koostöörobotraku valmistamine	36
4.1.2 Konveieriga koostöörobotraku probleemid	38
KOKKUVÕTE	39
KASUTATUD KIRJANDUS	40
LISAD	42
Lisa A Tehnilised joonised	43
Lisa B Labortööd	56
Lisa C Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	60

SISSEJUHATUS

Käesolevas rakenduskõrgharidus töös keskendutakse robotitehnika aine õppematerjalide edasiarendamisele. Töö käigus tutvuti koostööroboti, haaratsite ja konveieri õppematerjalidega. Projekteeriti ja toodeti prototüüp koostööroboti õpperakk konveieriga, paralleelhaarats ja vaakumhaarats.

Lõputöö teema valiti autori oskuste proovile panekuks mehaanika, elektroonika teadmiste ja õppematerjali koostamise protsessi arendamiseks.

Lõputöö eesmärk on anda lisa võimalus õppeaine Robotitehnika põhikursuse läbiviimiseks, et suurendada Universal roboti kasutatavust, selleks projekteeriti konveier, haarats. Lõputöös tutvuti konveieriga koostöörobotraku mehaanika, automaatika ja pneumaatika seadmetega.

Tootmisprotsessi arengut iseloomustab kiirem, kvaliteetsem, odavam ja targem tehnoloogia. Esimene tööstus revolutsioon sai alguse 18. sajandil, millega kaasati aurumootorite ja tööstusmasinate kasutuselevõtt. Uute tehnoloogiate kasutuselevõtu tõttu on kadunud paljud ametid füüsilise töö tegijate hulgas. [1] Tehnoloogiaga on korvatud inimlikke puudusi, milleks võeti 20. sajandil kasutusele esimesed robotid. Esimese teadaoleva tööstusroboti, ISO definitsiooni kohaselt valmistas "Bill" Griffith P. Taylor 1937. [2] Esimesed koostöörobotid leiutati 1996 aastal J.Edward Colgate ja Michael Peshkin' i poolt. Kirjeldati seadme, programmi ja inimese vahelist koostööd, kus manipulaator ja inimene on vahetus füüsilises koostöös. [3] Tehnoloogia areng ei ole peatunud, 21. sajandi tööstusrevolutsiooni keskseks osaks saamas koostöörobotid.

Töö esimeses peatükis tutvustatakse koostööroboti ajalugu, arengut, koostöö roboteid, koostöö robotite mudeleid, lintkonveierid ja haaratseid. Teoreetilised väited ja näited on tsiteeritud varasemalt teostatud ja avalikult publitseeritud teaduslikest uuringutest.

Töö teine peatükk keskendub konveieriga koostööroboti õpperakku, paralleel- ja vaakum haaratsi projekteerimisele. Antakse ülevaade prototüüp detailide valmistamisest ja elektri skeemist.

Töö kolmandas peatükis genereeritakse ideid õppetöösse rakendavate laborite läbiviimiseks, andmaks lisa eelist Robotitehnika põhikursuse õppainele.

Töö neljandas peatükis tutvustatakse tulemusi ja tootmisel tekkinud probleeme ja probleemide lahendusi.

Lisades on välja toodud tehnilised joonised ja kaks valminud labortööd, mis on mõeldud üliõpilaste praktilise kogemuse hankimiseks, automaatika ja tööstus valdkonnas.

Lõputöö autor soovib tänada lõputöö juhendajat Indrek Virrot ja Eesti Maaülikooli Tehnikainstituuti tehnoloogiliste masinate kasutamise võimaluse eest. Lisaks soovib autor tänada Eesti Maaülikooli õppejõude ja Tehnikainstituudi õppemeistreid.

1 ÜLEVAADE TEMAATIKAST

1.1 Koostööroboti kirjeldus

1.1.1 Koostööroboti kujunemine

1920 aastal leiutas Tšehhist pärit Karel Čapek sõna „robot“, kasutades seda teadus *science fiction* lavamängus „Rossum’s *Universal Robots*“. 1954 aastal valmistati esimene tööstuses kasutatav käsi, mille patenteeris Geroge Devol „*Programmed Article Transfer device*“, 1959 General Motorsi poolt. 1960 - 2000 aastatel hakati kasutama esimesi tööstus roboteid, millesse investeeriti, arendati programmeerimist, kuid leidis suure kasutuse autotööstustes ja tootmis ettevõtetes. 2001 - 2005 aastatel University of Southern Denmark’ i uurimisrühm võrdles tööstuslike roboteid ja turu vajadusi, tulles ideele teha edasiarendus tööstusrobotile. 2005 aastal valmis esimene Universal Robot A/S robot University of Southern Denmarki’s, mis on teostatud kolme teadlese poolt: Esben Østergaard, Kristian Kassow ja Kasper Støy. Eesmärgiks on arendada paindlik, koostöötav kasutaja sõbralik ja kergekaaluline robot. 2008 aastal valmis UR5, mis oli esimene koostöörobot, kes opereeris ohutult koos inimestega, millele tekkis suur nõudlus. 2012 aastal ilmus edasi arendatud suurema haarde ulatusega, suurema tõstevõimega UR10. 2012 - 2016 aastatel turustati „*Collaborative Robots*“ eraldiseisva grupina, mille suurimateks tootjateks on KUKA ja ABB. 2014 aktsepteeris TÜV Nord Saksamaa organisatsioon, kelle eesmärgiks on kontrollida ohutust ja väljastada sertifikaate, kolmanda põlvkonna ohutussüsteem UR’ i robotitele. 2016 publitseeriti koostöörobotitele ISO standard ISO/TS 15066, sisaldades juhtnööre kuidas tagada ohutus inimeste ja robotite vahel. 2015 aastal Universal Robots turustas UR3, mis oli esimene sertifitseeritud koostöörobot võimeliseks inimesega samal tööalal töötama. [4]

1.1.2 Koostöörobot

Koostöörobot on seade, mis on programmeeritud töötama koos inimesega reaalajas, samal töölaua vastavate töökorralduste automaatseks täitmiseks, esitatud joonisel 1.1. Roboti tööruumis on sensorid, millega tuvastatakse liikumist, tagatakse vastav kiiruse, kui inimene tegutseb robotiga üheaegselt tööalal. Tööstusrobotitega võrreldes on koostöörobot ohutum, mis on võimaldatud kergekaaluliste konstruktsiooni materjalide, ümarate kumeruste, limiteeritud kiiruse ja jõu kasutamisest. Tänapäevastes tegevustes vastavad koostöörobotid standarditele ISO 10218 ja ISO 15066, kuid tööstusrobotid on mõeldud töötama piiratud alas. Koostööroboti kasutusala on haaramine, asetamine, protsesside automatiseerimine, pakkimine, kvaliteedi kontroll, detailide kokkupanek ja poleerimine, mis on esitatud joonisel 1.2. [5]



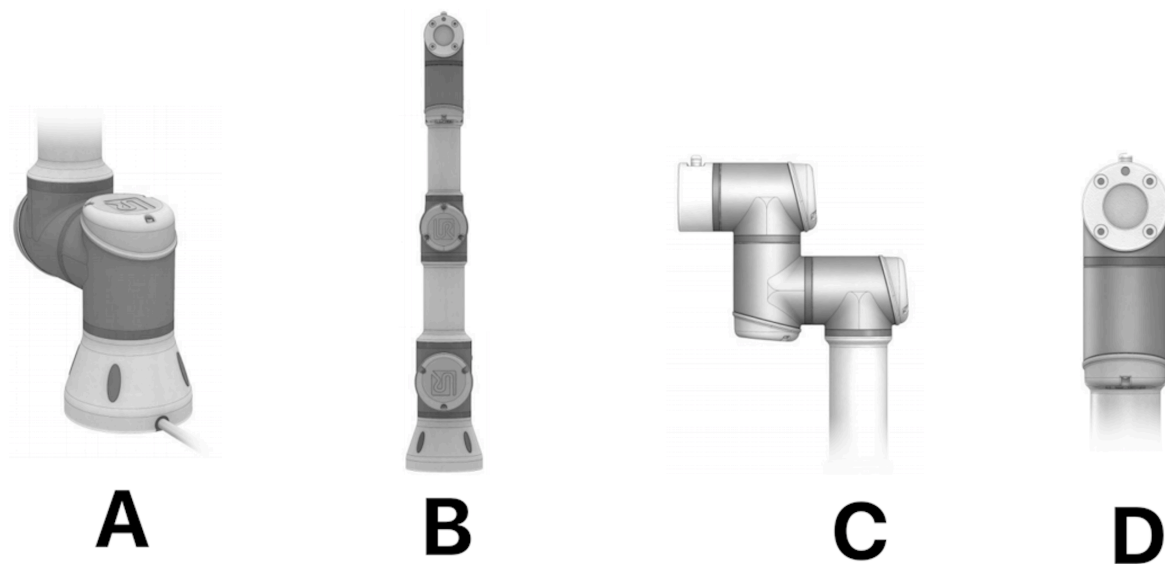
Joonis 1.1. Koostöörobot UR3



Joonis 1.2. Koostöörobotite kasutamise võimalused [5]

1.1.3 Koostöörobot UR3

Koostööroboti tehnilistes andmetes on esitatud roboti kaal 11 kg, mis võimaldab roboti kiiret teisaldamist erinevatele töölaudadele. Maksimaalseks tõste koormuseks on esitatud 3 kg, mistõttu on kasulik kasutada kergekaalulisi haaratseid haarates objekte raskemaid kui 3 kg. Tootmisprotsessi üles seadistamisel tuleb arvestada, et UR3 haarde ulatus on 500 mm. Koostöörobotil on vabadusastmeid kuus, mistõttu on kolm vabadusastet positsioneerimiseks ja suunistamiseks. Rotatsioonitelgede suunistamiseks võimaldatud pööre, kallutus ja lengerdas. Koostöörobot UR3 on esitatud joonisel 1.3. Juhtploki sisend-väljundviigud koosnevad 16 digitaal sisendist, 16 digitaal väljundist, 2 analoog sisendist, 2 analoog väljundist, võimaldades lisada väliseid seadmeid, enkoodereid, invertereid, turvalüliteid jne. Tööriista sisend-väljundviigud koosnevad 2 digitaal sisendist, 2 digitaal väljundist, 2 analoog sisendist, 2 analoog väljundist, võimaldades kontrollida pneumaatilisi ja elektrilisi haaratseid. Väljundjuhtplokis on arvestatud lisa seadmete toitepinge varustamisega 24 V juhtplokis ja 12 V tööriista kasutamisel. Programmeerimine toimub Polyscope tarkvaras, 12" puutekraaniga. Koostöörobot UR3 on võimaldatud töötama temperatuurivahemikus 0 - 50 °C, arvestuslikuks tööeks loetakse 35,000 tundi. Roboti andmed on esitatutud tabelis 1.1.



Joonis 1.3. UR3 Robotirakk: A – alus; B – koostöö robotirakk, C – käe liigend; D – käsivarre liigend. [6]

Tabel 1.1. Koostööroboti UR3 tehnilised andmed [7]

Mass, kg	11
Tõstevõime, kg	3
Haardeulatus, mm	500
Vabadusastmed	6
Digitaalsed sisendid / väljundid	16 digitaal sisendit, 16 digitaal väljundit
Analoog sisendid / väljundid	2 analoog sisendit, 2 analoog väljundit
Tööriista S/V viigud	2 digitaal sisendit, 2 digitaal väljundit, 2 analoog sisendit
S/V toiteallikas, V	12, 24
Programmeerimine	PolyScope graafiline kasutajaliides
Võimsustarve, W	~ 100
Temperatuur, °C	Töötemperatuuri vahemik 0 - 50
Toiteallikas, VAC, Hz	100 - 240, 50 - 60
Arvestuslik tööiga, h	35,000

Andmelehes on kajastatud koostööroboti kaalu, maksimaalselt kasulikku haarde koormust, haarde kaugust, vabadusastmeid, juhtploki viigud, programmeerimis tarkvara, võimsustarvet, toiteallikat ja arvestuslikku tööiga. [7]

1.1.4 Koostöörobotite ja tööstusrobotite ohutus ja koostöövõime võrdlus

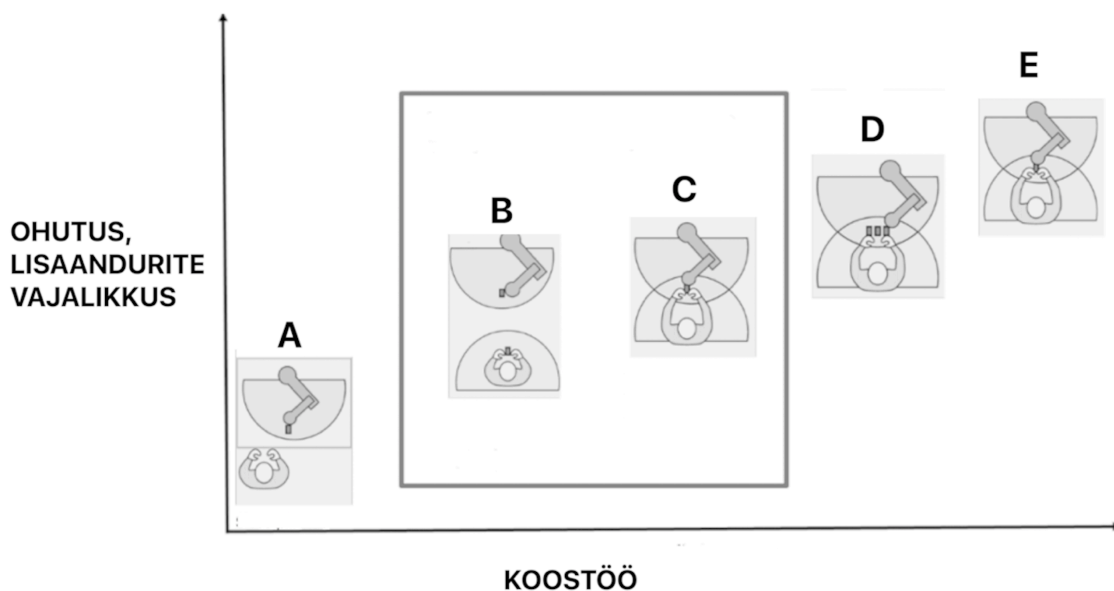
Ohutuse ja koostöövõime võrdlemiseks on loodud kavand, kus võrreldakse koostöörobotit ja tööstusrobotit, mis on esitatud joonisel 1.4. Strateegiad jagunevad iseseivaks, samaaegseks, järjestikuseks, toetavaks protsessiks. Ülesanded jagunevad operaatori, töödeldava detaili ja roboti vahel.

Iseseisevaks strateegiaks nimetatakse operaatori ja koostööroboti töötamist erinevatel tööaladel sõltumatult nende tootmisprotsessist. Koostöö on põhjustatud operaatori ja koostööroboti samaaegsest kohalolekust.

Järjestikuseks protsessiks nimetatakse kui operaator ja koostöörobot teostavad samal toorikul järjestikuseid ülesandeid. Enamikul juhtudel on koostöörobot korraldatud tüütute protsesside käitlemiseks, et parandada operaatori töötingimusi.

Samaaegseks protsessiks nimetatakse kui operaator ja koostöörobot töötavad üheaegselt, eraldi protsessides, sõltumata ajast ja ülesandest. Üheaegselt ülesannet sooritades väheneb detaili valmimise aeg, parandades seeläbi tootlikkust.

Toetava strateegia rakendamisel robot ja operaator töötlevad üheaegselt sama detaili. Robot peab teadvustama programmis operaatori kavatsust ja ülesande nõudeid. [7]



Joonis 1.4. Erinevad toimimiskavad koostöörobotite kasutamises, kus võrreldakse ohutust ja koostöövõimet: A – aedikuga piiratud; B – kooseksisteerimine, aedik puudub, kokkupuudet ei eksisteeri; C – töötaja ja robot töötavad samal tööalal järjestikuliselt; D – manipulaator ja töötaja töötlevad detaili üheaegselt; E – robot jälgib inimese liigutusi.

Joonisel 1.4. on kajastatud kasti B ja C ümber, millega on näidatud tööstuslike manipulaatorite arengut. Valik tööstusliku ja koostööroboti vahel määrab kavandatud rakendus. Kiiruse, absoluutse täpsuse saavutamisel valitakse tööstusrobot. [8]

1.1.5 UR3 programmeerimine

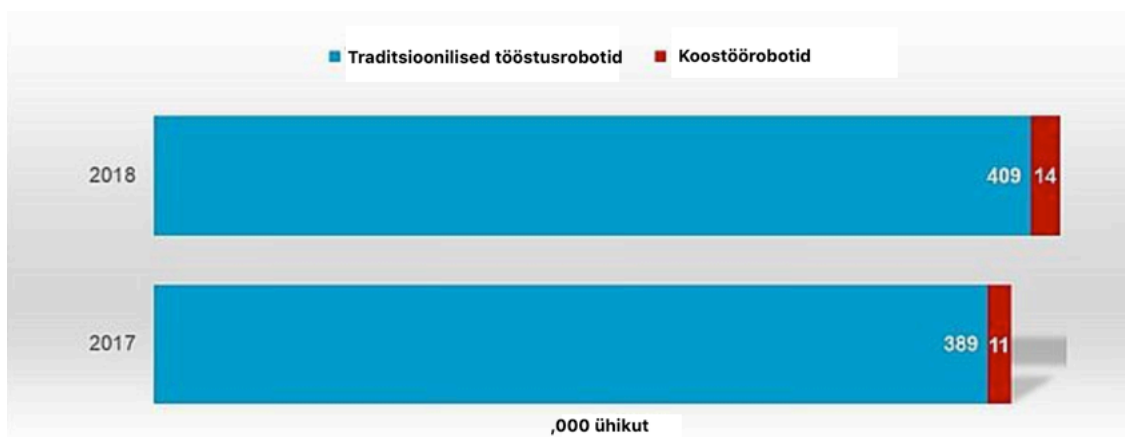
Trajektoori õpetamine võimaldab robotil liikuda punktist A punkti B. UR3 programmeerimiseks kasutatakse Polyscope kasutajaliidest, millega on võimaldatud liigutada koostööroboti telgesid, kontrollida juhtplokki ühendatud sisendeid ja väljundeid. Liikumine võimaldatakse teekonnapunktide lisamisega liigutades robot kätt ettenähtud punkti või juhtpulti kasutades. Roboti kontrollimiseks kasutajaliideses on jaotatud viite tulpa: programm, installeerimine, liikumine, sisendid/väljundid ja sündmuste andmestik. Programmis määratakse trajektoor, kuidas robot liigub ja sisendite/väljundite käsuga võimaldatakse erinevate seadmete kontroll, näiteks enkoodereid, invertereid, haaratseid jne. Installeerimis tarkavaras seadistatakse tööriista keskpunkti, sisendid/väljundid, funktsioone, vaikimisi programme, liikuva konveieri jälgimist ja valitakse salvestatud programme. Liikumise tulbas on võimalik seadistada kolme käsivarre ja käe liigendit. Sisendite/väljundite tulbas on arvestatud seadistavate analoog, digitaal ja tööriista signaali määramisega. Andmestikus on esitatud vahetud tööparameetrid: temperatuur, pinge, vool, võimsus. [8] Interaktiivne akadeemia programmeerimisest on olemas ettevõtte veebikeskkonnas, kuidas neid asju kasutada.

1.1.6 Koostööroboti ohutuse tüübid

Vastavalt ISO 10218 1. ja 2. osale määratletakse nelja tüüpi koostöörobotite ohutust. Jälgitakse seiskamist, kiiruse ja eraldatuse võimet, võimsust ja jõudu piiravat ohutust. Ohutusega jälgitav peatuseks nimetatakse koostööroboteid, ehk robot peatatakse kui inimene siseneb töökeskkonda. Tavaliselt kasutatakse seda tüüpi ohutust tööstusrobotit anduritega, mis peatavad roboti töö. Kiirus ja eraldamise tüüpi koostöörobotid on sarnased ohutusega jälgitavatele robotitele. Kasutades keerukamaid nägemissüsteeme, et aeglustada toiminguid tööprotsessis tekkiva ohu korral ja lõpetada töö täielikult, kui töötaja on robotile liiga lähedal. Võimsust ja jõudu piiravat tüüpi koostöörobotid on ehitatud ümarate nurkadega ja rea intelligentsete kokkupõrkeanduritega, et kiiresti tuvastada kokkupuude ja peatada töö. Seda tüüpi koostöörobotitel on jõupiirangud, et ei põhjustaks kahju, vähendades sellega operaatori vigastuste riske. [9]

1.1.7 Ülevaade koostöörobotite ja traditsiooniliste tööstusrobotite turust

Koostöörobotite järele on suurenenud nõudlus tehastes, laborites ja kauplustes. Esimest korda ajaloos 2019.a *World Robotics-is* võrreldi koostööroboteid ja tööstusroboteid, esitatud joonisel 1.5. IFR-i määratluses täheldati koostöörobotit kui sisuliselt tööstusrobotit, mis on määratletud standardiga ISO 8372: 2012. Koostöörobotite paigaldatud ühikute arv võrreldes tööstuslike robotitega on madal 3,24%. 2018 aastal paigalati 14000 ühikut koostöörobotit ja 422000 tööstusrobotit. 2017 võrreldes 2018 kasvas koostöörobotite arv 23 %. [10]



Joonis 1.5. 2017 - 2018 aasta klassikalise tööstusroboti ja koostöörobotite paigalduste hulk ühikutes [11]

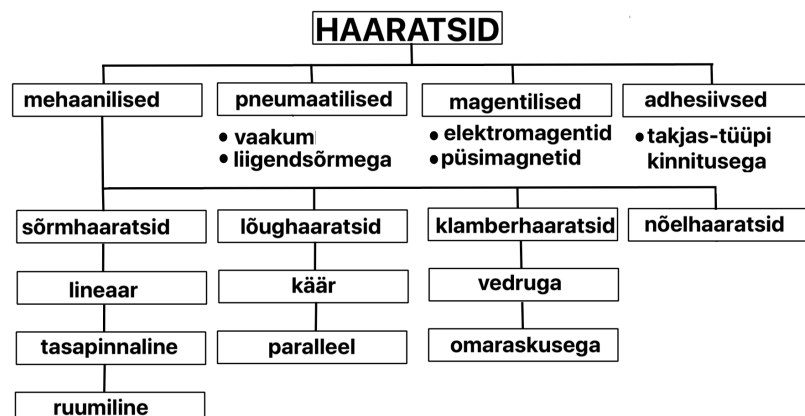
2023 aastaks eeldatakse, et koostöörobotite turg on väärt \$4,28 miljardit erinevates tööstusharudes nagu autotööstus, mööbel ja metall. Suur nõudlus on koostöörobotitele, mille kandevõime ületab 10 kg. [11] Koostööroboti turustajad on ABB, AUBO, Bosch, Carbon, Comau, Denso, Dobot, Fanuc, Franka Emika, JK-Tech, Kawada, Kinova, Kuka, Life Robotics, Mabi Robotics, Meca, Modbot, Presice Automation, Productive Robotics, Schunk, TM Techman, Universal Robots ja Yaskawa. [12]

1.2 Haaratsid

1.2.1 Haaratsite tüübid

Haarats on seade, mille abil teostatakse esemete haaramist, kinni hoidmist ja vabastamist. Tegemist on füüsilise liitega roboti ja tööeseme vahel. [13] Haaratsid jagunevad mehaanilisteks, pneumaatilisteks, magnetilisteks ja adhesiivseteks ehk takjatüüpi kinnitusega haaratsiteks.

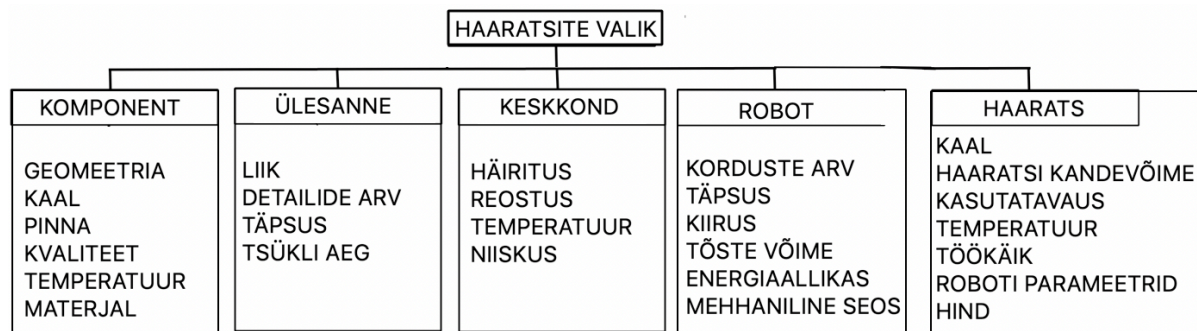
Mehaanilised haaratsid jagunevad sõrmhaaratsiteks, lõughaaratsiteks, klamberhaaratsiteks ja nõelhaaratsiteks. Sõrmhaaratsid jagunevad lineaarhaaratsiks, millel on 1 vabadusaste, tasapinnalikeks haaratsiks ehk kolme vabadusastmega ja ruumiliseks haaratsiks kuue vabadusastmega. Lõughaaratsid jagunevad käärhaaratsiks ja paralleel haaratsiks. Käärhaaratsi tunnuseks loetakse, et mõlemad haaratsi sõrmed pöörduvad ümber kerele kinnitatud telje. Paralleelhaaratsite tehnoloogial surutakse mõlemad haaratsid teineteisega paralleelselt haaratsi kerega vastassuunas. Klamberhaaratsid jagunevad vedruga ja oma raskusega, mõlemad haaratsid avatakse survega. Vedru haaratsite survejõud tekitatakse vedruga ja omaraskusega, kus detaili survejõuks on raskusjõud. Nõelhaaratsid kasutatakse tekstiilitööstuses, mis haaravad kangast pikendatud kooniliste tornidega. Pneumaatilised haaratsid jagunevad vaakum ja liigendsõrmedega haaratsiteks. Magnetilised haaratsid jagunevad elektromagnetilisteks ja püsिमagnetilisteks haaratsiteks. Adhesiivsed ehk takjastüüpi kinnitusega haaratsiteks. [14] Haaratsite jaotus on esitatud joonisel 1.6.



Joonis 1.6. Haaratsite jaotus [14]

Probleemid püsivad siiski vajaduse tõttu haaratsi järel, mis suudaks teatud rakenduste jaoks käsitleda mitmekesist tootevaliku. Varieeruvus suuruses objekte haaravad, reguleeriva haarde tugevusega ja tagasisidega haaratsid maksvad ~ 1000 eurot. [15]

Haaratsit valikul arvestatakse viie teguriga. Viis tegurit on detail, ülesanne, keskkond, roboti tehnilised näitajad ja haaratsi omadused, mida kajastab joonis 1.7.

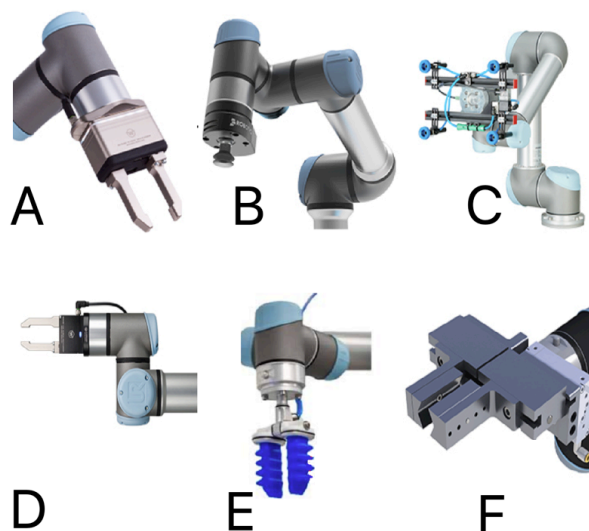


Joonis 1.8. Haaratsi valik detaili, ülesande, keskkonna, roboti ja haaratsi järgi [16]

Komponendi vaatlusel jälgitakse geomeetriat, kaalu, pinna kvaliteeti, temperatuuri ja materjali. Ülesande järgi jaguneb vastavalt töö ülesande, detailide arvu, positsiooni täpsuse ja tsükli aja järgi. Keskkond vastavalt reostatuse astme, masina häirituse, temperatuuri ja niiskustaseme alusel. Robot vastavalt korduste, mis mõjutada protsessi aega, täpsus tööoperatsiooni keerukusest, kiirus, tõste võime, energia allika ja mehhaanilise seose järgi. Haarats vastavalt eseme kaalu, eseme tõstmiseks kuluva jõu, mitmes töö operatsioonis saab haaratsit kasutada, roboti parameetrid ja hind. [16]

1.2.2 UR3 Haaratsid

UR3 haaratsid rakendamise järgi jaotatakse: pakkimise, ladustamise, ulatamise, paigaldamise, pritsevalu ja kvaliteedikontrolli järgi.

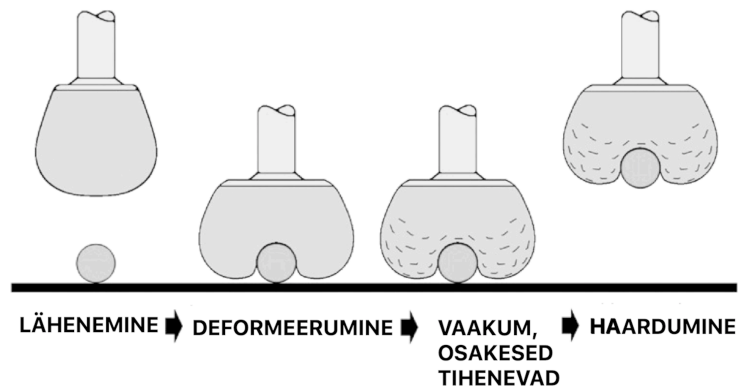


Joonis 1.9. UR3 toodetavad haaratsi tüübid: A– kohanemisvõimelised; B – vaakum elektrilised; C – pneumaatilised; D – elektrilised; E – pehmelt käideldavad; F – multifunktsionaalsed. [17]

Kohanemisvõimeliseid haaratseid iseloomustab tagasiside, vaakum elektrilisi vaakumgeneraator, pneumaatilisi suruõhk, elektrilisi elekter, pehmelt käideldavaid ja multifunktsionaalseid objektide haarde varieeruvus. [17]

1.2.3 Vaakumhaarats

Peamised ülesanded vaakumhaaratsitel on objektide haaramine ja hoidmine. Selleks on arendatud haaratseid, mis oma võimelised haarama ebatavalise kuju ja pinna omadustega esemeid. Siiani on arendatud käe jäljendamist, aga see nõuab riist- ja tarkvara keerukust, mis omakorda tähendab tarkvara kasutusoskust. Erinevate objektide tõstmiseks projekteeris Indrek Virro magistritöös vaakum haarats, mis töötab vaakumpõhimõttel, alarõhu tekitades graanulosakesed tihenevad, tekitades haardumise. Haaratsi tööpõhimõte on esitatud joonisel 1.8. ja projekteeritud haarats joonisel 1.9. [19]



Joonis 1.8. Vaakumhaaratsi tööpõhimõte [18]



Joonis 1.9. Eesti Maaülikoolile projekteeritud vaakumhaarats [19]

Selle haaratsi eelised on erineva kujuga objektide haaramine, tagasisidet vajamata, saavutades märkimisväärse hoidetugevuse. Samuti on eeliseks kui lähtematerjal pole teada, kohandudes sihtobjekti pinnaga. Miinusteks on, ebaühtlane jõu jaotus, probleeme esineb pulbriliste ja poorsete pindadega, mis ei tihenda.

1.3 Konveierite ülevaade

1.3.1 Konveierite jaotus

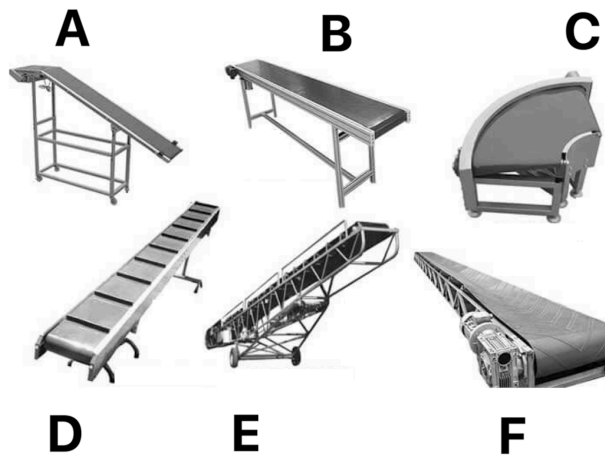
Tegemist on edastusmasinaga, millega kantakse toormaterjali, detaile punktist A punkti B. Konveierite eesmärk on minimaalselt kasutada käsitsi edastust, võimalikult madalate kuludega, kergendada operaatorite töökoormat, kasvatada ergonoomilisust, parendada töövoogu, suurendada läbilaskevõimet ja kanda toodet ohutult. [20] Parameetrid, mida peaks arvestama konveier lindi projekteerimisel: pinna kandevoime, konveieri laius, kogu pikkus, kiirus, operatsiooni temperatuur. Peamised konveieri tüübid: lintkonveierid, rihm konveiereid, kettkonveierid, kruvi- ja tigukonveierid.

Materjal konveier lindi ja veorulli vahel, kahjustatud veolint, veolint jookseb kõveralt. Antud probleeme tekitavad vale veolindi pinge, asümmeetriline veose laadimine, valed tihendussüsteemid. Probleeme lahendatakse veolindi pingutite, kasutades töötavad tihendussüsteemi, ennetades lahtiste materjali sattumist veolindile. [21]

Peamised arengusuunad konveieri edasi arendusel. Konveierid edastavad infot võrku ühendatud seadmetega. See võimaldab kiiret punktist A punkti B edastamist, koos vahe operatsioonidega, näiteks sorteerimine, kaalumine ja mõõtmine. Konveierid on projekteeritud kasutamaks vähem ruumi. Kergekaaluliste materjalide, mootorite, kontrollrite ja laagrite valik vähendades energiakulu. Toidutööstuses ja meditsiini valdkonnad kasutatakse hügieeniliseid ja isepuhastavaid konveier süsteeme. [22]

1.3.2 Lintkonveierid

Lintkonveier on konveieri tüüp, kus kasutatakse linti materjali transportimiseks. Koosneb peamiselt kahest või enamast rihmarattast, kus jõud kantakse veorullile enamasti elektrimootoriga. Lintkonveier tüüp valitakse vastavalt tööprotsessile, mida iseloomustab näiteks muutuv kiirus, pidev töö, suured ja ebaühtlased koormused. Lintkonveierite jagunemine on näidatud joonisel 1.0.



Joonis 1.10. Lintkonveierite jagunemine: A – kaldus lint konveier; B – lamelint konveier; C – nurk lint konveier; D – labadega lint konveier; E – transporditav lint konveier; F – plaat lint konveier. [23]

Laialdaselt kasutatakse kiviõie tehastes, keemia tehastes, ehitus materjalide transportimisel, põllumajanduses ja logistikaga tegelevates asutustes. [23]

2 ARENDUSED KONVEIERIGA KOOSTÖÖROBOTI ÕPPERAKULE

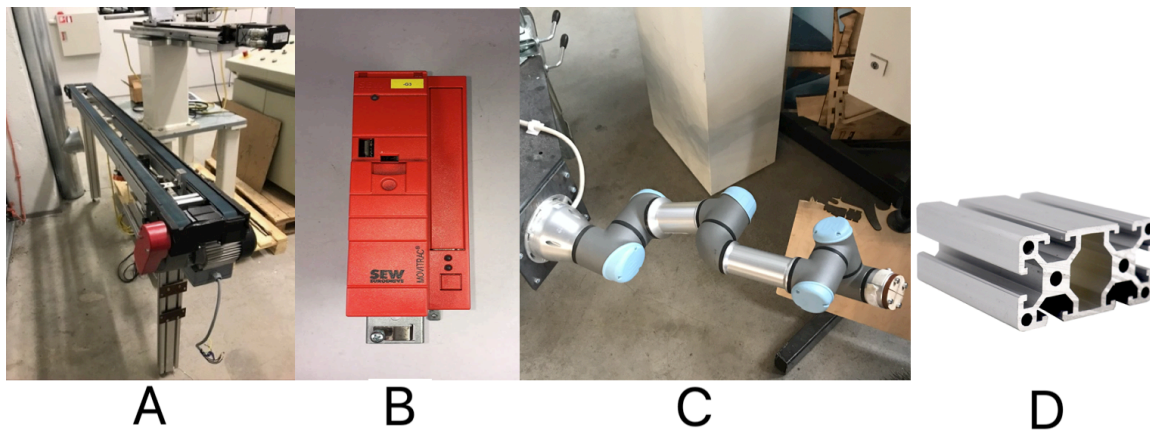
2.1 Koostööroboti õpperakk

2.1.1 Kitsendused

Antud töö kitsendused on põhjustatud olemas olevatest detailidest. Konveieri projekteerimisel sooviti: veolindi laius > 100 mm, kontrollitav Universal Roboti kontrolloriga, mobiilne ja veolint ei läbiks alumiinium profiili raami, esitatud joonisel 2.1 A. Tingimused tulenevad järgmistest asjaoludest, et kasutada saab nimetatud seadmeid ja profiile:

1. 0,18kW asünkroonmootor, tabel 2.1;
2. Inverter SEW EURODRIVE MC07B0008–2B1–4-00, tabel 2.2;
3. 2 x 1800 mm alumiinium profiil 40 x 80 mm;
4. 2 x 800mm alumiinium profiil 40 x 80 mm;
5. Universal Roboti UR3.

Töö käigus kasutati Eesti Maaülikooli treimise, freesimise, printimise, lõikamise, puurimise, keermestamise, saagimise ja lihvimise tehnoloogiat. Kitsendused on esitatud joonisel 2.1. Joonisel 2.1 A pildil näidati, kuidas eelnev konveier koosnes kahest eraldiseivast lindist, millel puudub detailide asetamise funktsioon.

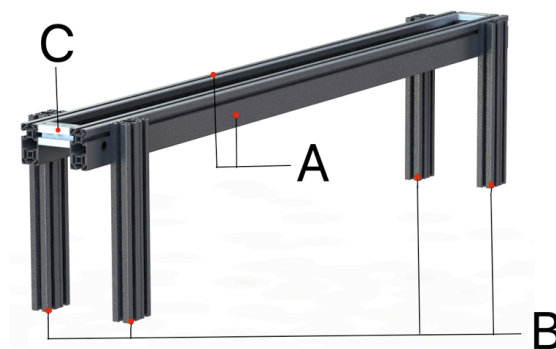


Joonis 2.1. Kitsendused: A – esialgne konveier; B – inverter; C – UR3; D – alumiinium profiil 40 x 80 mm.

2.1.2 Konveieri projekteerimine

Konveieri projekteerimist alustati vajalike materjali mõõtmistega, arvestati vajalike kitsendustega, seejärel sooritati 3D mudeli modelleerimine. Konveieri tüübiks on lintkonveier.

Raam projekteeriti neljale tugijalale, sest esialgsel konveieril puudus võimalus eraldiseisev vertikaalne asend. Alustati raamist, kasutati 80 x 40 mm alumiinium profiili, raam on esitatud joonisel 2.2. Raami ehitamisel kasutati 2 x 1800 mm alumiiniumprofiili. Tugi jalgu on neli, saeti nurksaega 80 x 40 alumiiniumprofiilist 390 mm. Raami osa kinnitab 73,5 mm, 40 x 40 mm alumiiniumprofiil. Iga tugijalg on fikseeritud raamile 2 x M8 x 50 mm poltidega.

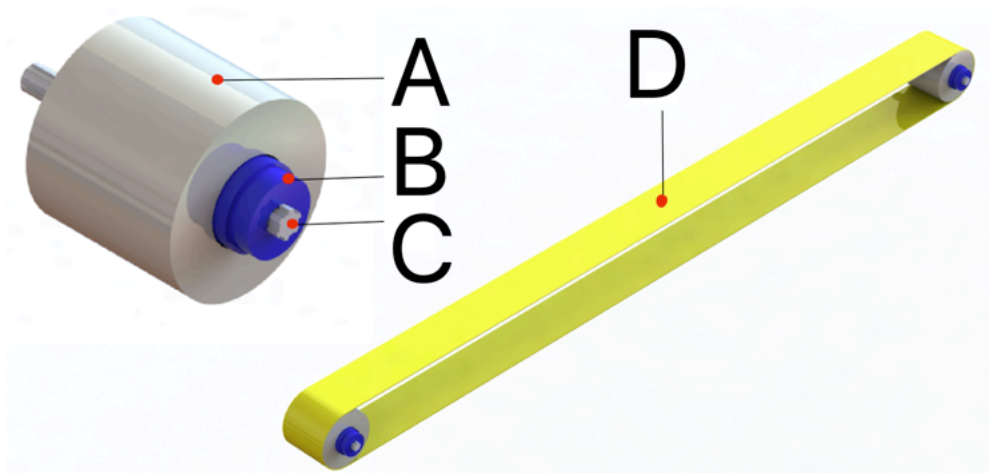


Joonis 2.2. Projekteeritud alumiinium raam: A – alumiinium profiil 40 x 80 1800 mm; B – tugijalad, 390 mm; C – 40 x 40 mm alumiiniumprofiil 73,5 mm raami fiksaator.



Joonis 2.3. Valminud alumiinium raami prototüüp

Järgnevalt valmistati tööstuslikust plastikust, polüamiidist konveieri lindi veorullid. Polüamiid valiti, sest tegemist on suurepärase töötlemisomaduste, piisava kõvaduse, jäikuse tagava materjaliga. Polüamiidi PA6 tõmbe elastsus moodul on 3000 Mpa, kuulkõvadus 150 N/mm², töö temperatuur -40 – 75°C. Veorulli töödeldi treipingis läbimõõduga 130 mm, laiussega 117 mm. JõuülekanDES kasutati 16 x 20 mm terasest veovõlli mõõtmetega 210 mm ja 177,6 mm, eelneva konveieri KBC S20SZ laagreid. Laagreid kasutati taaskasutus eesmärgiga, mis eemaldati vanalt konveierilt. Laagrid toetati veorulli avasse, mis fikseeriti tiheda istuga veorulli treitud õõnesse. Veolindi kogupikkus projekteeriti 3940 mm, laiuseks 117 mm. Veorull, veovõlli, laagri, linti isomeetrilist vaadet kajastab joonis 2.4 ja valminud prototüüpi 2.5.

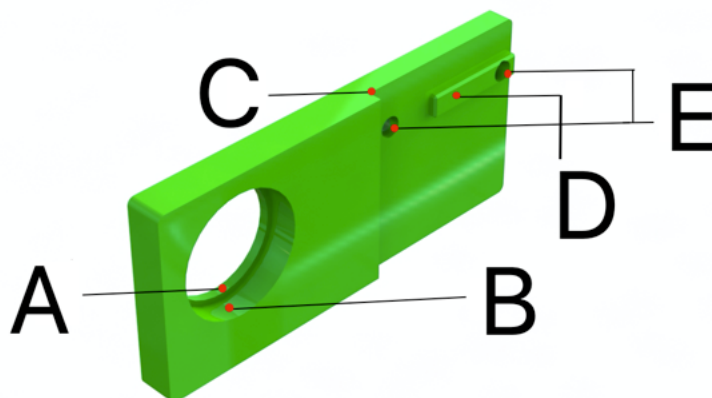


Joonis 2.4. Liikuv mehhanism: A – veorull; B – laager; C – veovõll; D – veolint.

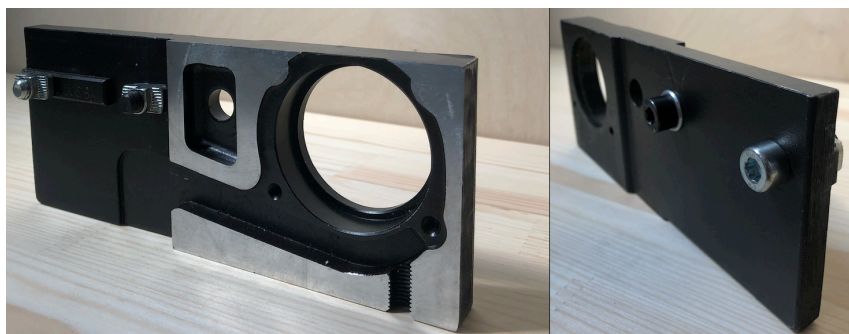


Joonis 2.5. Valminud liikuva veorulli mehhanismi prototüüp

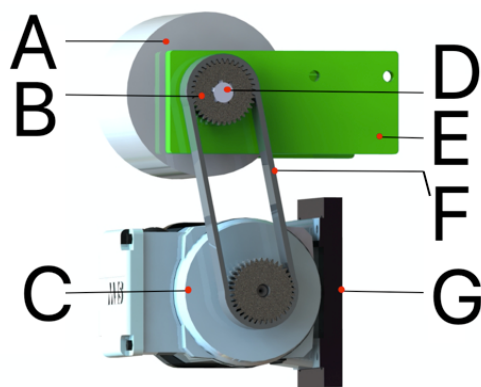
Veorulli ja raami vaheliseks kinnitamiseks projekteeriti lisa kinnitus, tagamaks piisav jäikus. Projekteeriti neli detaili, millest kaks on reflektsoonis. Valmistati vajalikud kinnitused detaili raami, veorulli ja laagrite kinnitamiseks freeskeskuses. Detaili vajalikkus seisneb kinnituses raamile, laager toetudes laagripessa, piirates vajaliku äärikuga, mida fikseeriti kiiluga, peatades vertikaalse liikumise. Järgnevalt projekteeriti pinnad erikõrgustele, freespingis lõigati fikseeriv kaugus. Mudeli isomeetriline 3D joonis on esitatud joonisel 2.6. Valminud raami ja veorulli ühendav kinnituse prototüüp on kajastatud joonisel 2.7. Jõuülekanne on esitatud joonisel 2.8.



Joonis 2.6. Raami ja veorulli kinnitus: A – laagri piiraja; B – laagripinna toetus; C – fikseeriv kaugus; D – horisontaalseks stabiliseerimiseks kiil; E – detaili kinnitus avad.

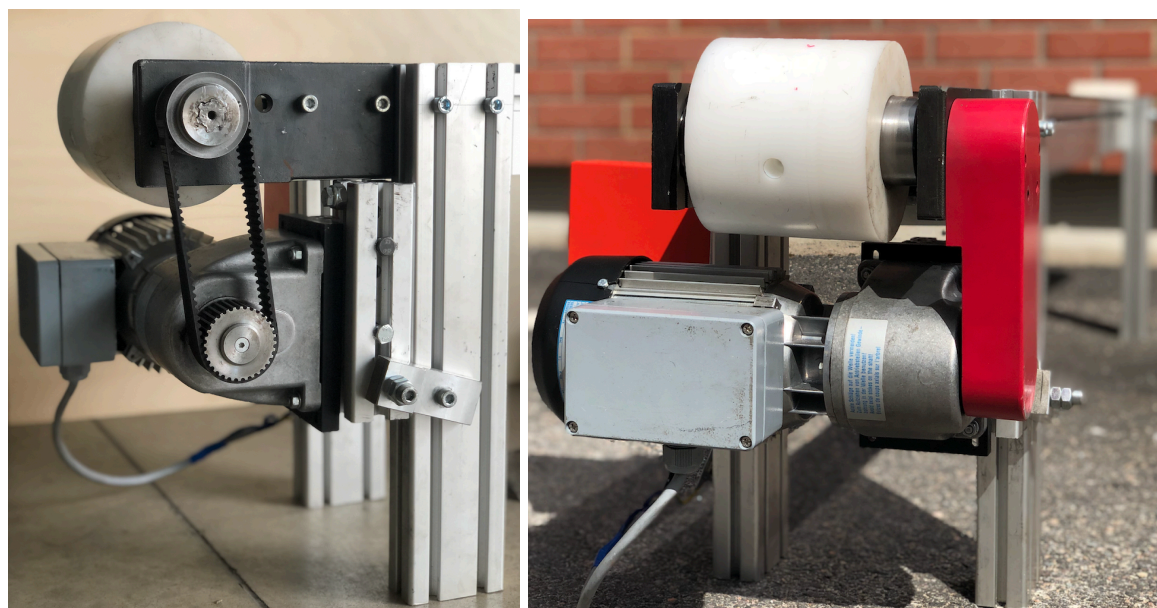


Joonis 2.7. Valminud raami ja veorulli ühendav kinnituse prototüüp



Joonis 2.8. Jõuülekande koost: A – veorull; B – hammasratas; C – asünkroon mootor; D – veovõll; E – kinnitus; F – rihm.

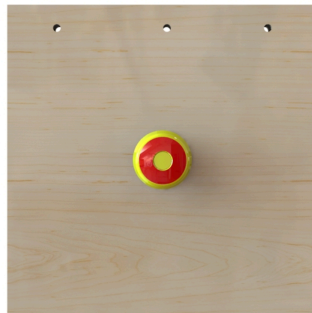
Algselt prooviti asünkroonmootoriga kinnitus ühendada tugijalakülge, aga sellega takistati konveierlindi tööd. Otsustati 40 x 40 mm alumiiniumist kaks lisa alumiinium profiili kinnitada tugijalale, konveierlindi poolse tugiprofiili pikkuseks lõigati 150 mm, millega tagati veolindi sujuv töö. 175 mm alumiiniumprofiil kinnitati tugijala ja 150 mm alumiiniumprofiili külge M8 x 100 poltidega, millega tagati piisav jäikus, mootori sujuvaks tööks. Hammasrihma pingutamiseks kasutati alumiinium profiili, mis kinnitati 175 mm ja tugijala külge, millega tagati rihma pingsus. Lisa pingsus tagati asünkroonmootori koostu madalamale nihutamisega ja ohutus rihmakaitsega. Valminud jõuülekande prototüüp on esitatud joonisel 2.9.



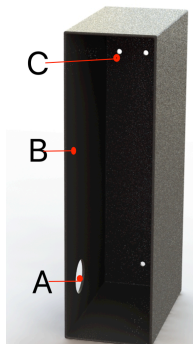
Joonis 2.9. Valminud jõuülekande prototüüp

Konveieri ohutus on suur prioriteet, selleks projekteeriti alusplaat mõõtmetega 300 x 300 mm, mille keskele asetati käivitus- ja seiskamislüliti, lülitamaks välja koormus asünkroonmootoril, UR3 koostöörobotil- ja, UR3 kontrolleri. Põhjus, miks alusplaat vajalike mõõtmetega on, et lüliti oleks nähtav ja lülitamisel kätt liikuvate osade vahele ei asetaks, milleks on veorull, veolint ja UR3. Projekteeritud ohutus koost on esitatud joonisel 2.10.

Lisa ohutust tagab elektrikilp, millega isoleeriti lahtised juhtmed. Juhtmete ühendused esinevad UR3 kontrolleri, elektrimootori, enkooderi, inverteri vahel. Elektrikilbi projekteerimisel arvestati, et inverter, pingeallikas asetseks elektrikilbi sees, juhtmete ühendamiseks töödeldi ava elektrikilbile. Elektrikilp on esitatud joonisel 2.11.



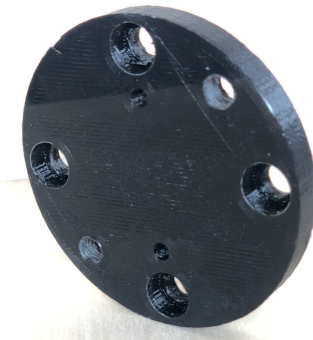
Joonis 2.10. Käivitus- ja hädaseiskamislüliti alusplaadil ohutuse tagamiseks



Joonis 2.11. Elektrikilp: A – ava; B – ümbris; C – kinnituse augud.

Projekteeriti PLA materjalist kiirkinnitus eesmärgiga roboti ühendamiseks erinevatele haaratsitele. Kasutati UR3 kasutusjuhendist esitatud joonist tööriista baaspinnast, mis modelleeriti Solidworks tarkvarasse.

Projekteeriti 50 mm läbimõõduga ring, kuhu asetati neli 6 mm ava tööriista hoidiku kinnitamiseks. Avad asetsevad 90 kraadi järel, projekteerimisel arvestati poldi pea peite süvendiga. Puuriti 40 ja 35 mm raadiusele kaks ava, mille külge on võimaldatud kinnitada haaratseid. Toodetud prototüüp on esitatud joonisel 2.12.



Joonis 2.12. UR3 3D printitud haaratsi kinnituse prototüüp

Kasutati H38S100B 24 V fotoelektrilist pöörde enkooderit, mille abil mõõdetakse ühe täispöördejooksul tehtud impulsse. Impulsse mõõdeti hammasrihmalt. Enkooderi kinnitamiseks projekteeriti kinnitus akrüülist, mille prototüübil võimaldati erinevalt kauguselt hammasrihma kiiruse mõõtmiseks, enkooder kinnitati akrüülile kolme M3 poldiga. Signaalide mõõtmiseks projekteeriti võllile ümar tiheda istuga rullik, millega loetakse signaale hammasrihmalt. Kinnitus toodeti laserpingis, rullik 3D printimisel. Prototüüp on esitatud joonisel 2.13.



Joonis 2.13. Enkooder prototüüp kinnitus

2.1.3 Konveieri arvutused

Konveieri koostamisel kasutati elektrimootorit jõumomendiga $2,3 \text{ N} \cdot \text{m}$, mida kajastab tabel 2.1. ja inverter SEW EURODRIVE nimiparameetritega tabelis 2.2. ja esitatud joonisel 2.14. Konveier peab olema sobilik töötamaks koostöörobotiga. Konveierile esitati järgmised nõuded: kiiruseks sooviti $0,25 \text{ m/s}$, suuteline 5 kg kaupa vedama. Selleks tehti vastavad arvutused.

Tabel 2.1. Töömashinate nimiparameetrid

Asünkroonmootor	Δ/Y
Võimsus, kW	0,18
Pinge, V	230/400
Voolutugevus, A	0,57/0,87
Võimsustegur	0,74
Pöörlemiskiirus, min^{-1}	1300/1560
Töörežiim	S1
IP	54

Tabel 2.2. Inverter SEW EURODRIVE nimiparameetrid

SEW EURODRIVE		MC07B0008– 2B1– 4-00	
Sisendparameetrid:		Väljundparameetrid:	
Pinge	200 – 240 V	Pinge	$3 \bullet 0 \text{ UN}$
Voolutugevus	9,9 A	Voolutugevus	4,2 A
Sagedus	50 – 60 Hz	Sagedus	0 – 600 Hz
Temperatuur	-10 – 50 °C	Võimsus	0,75 kW

Arvutati konveieril kasutatava lindi mass järgmise valemiga (Forbo, IV-8)

$$m_B = m_L \cdot l \cdot a, \quad (1.1).$$

kus m_B – lindi mass kg;

m_L – moodullindi mass kg/m^2 ;

l – moodullindi pikkus m;

a – moodullindi laius m.

Moodullindi pikkuseks projekteeriti $3,940 \text{ m}$, laiuseks $0,117 \text{ m}$. Moodullint 1 m^2 massiga $4,9 \text{ kg}$. Lindi massiks arvutati $2,25 \text{ kg}$.

Arvutati lindi tõmbejõud. Tõmbejõu leidmiseks kasutati järgmist valemit (Forbo, IV10)

$$F_t = C_{OP} \cdot [\mu \cdot G \cdot (m_k + m_B)], \quad (1.2).$$

kus F_t – tõmbejõud N;
 C_{OP} – töötegur;
 μ – hõõrdetegur;
 G – raskusjõud N/kg;
 m_k – kauba mass kg;
 m_B – lindi mass kg.

Töötegur C_{OP} valiti 1, mis väljendab sujuvat tööd, hõõrdetegur μ 0,3, raskuskiirenduse mooduli väärtus 9,8 N/kg, maksimaalseks kauba massiks 5 kg, lindi massiks 6,75 kg. Tõmbejõuks arvutati 2,3 N.

Arvutati jõumoment valemiga (Forbo, IV-10)

$$M = \frac{F_t \cdot D_m}{2000}, \quad (1.3).$$

kus F_t – tõmbejõud N;
 F_t – moodullindi tõmbejõud N;
 D_m – moodullindi hammasratta diameeter mm.

Arvutatud moodullindi tõmbejõuks 21,3 N, kasutati hammasratast diameeteriga 50 mm.

Jõumomendiks arvutati $0,53 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Arvutati pöörlemissagedus valemist (Forbo, IV-13)

$$R_S = \frac{v \cdot 1000}{D_0 \cdot \pi}, \quad (1.4).$$

kus R_S – pöörlemissagedus min^{-1} ;
 v – moodullindi kiirus m/min;
 D_m – moodullindi hammasratta diameeter mm.

Moodullindi kiiruseks valiti 15 m/min, moodullindi hammasratta diameetriks 50 mm.

Pöörlemissageduseks arvutati 95 min^{-1} .

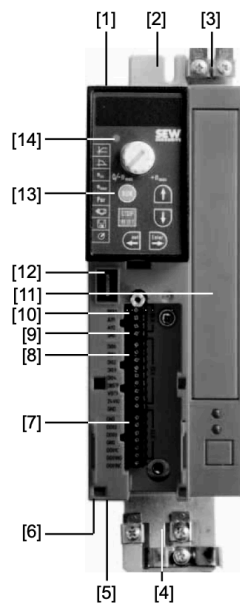
Arvutati jõud kW valemiga (Forbo, IV-13)

$$P_S = \frac{v \cdot (G \cdot (m_a + m_l))}{\mu \cdot 1000}, \quad (1.5).$$

kus P_S – jõud kW;
 v – moodullindi kiirus m/s;
 m_a – veetava kauba mass;

- m_l – lindi mass kg;
 μ – hammasratta hõõrdetegur;
 G – raskusjõud N.

Moodullindi kiiruseks valiti 0,25 m/s, veetava kauba massiks 5 kg, lindi massiks arvutati 2,25 kg, hammasratta hõõrdeteguriks 0,84. Staatiliseks jõuks arvutati 0,02 kW. [24]



Joonis 2.14. Inverteri üksuse kujundus: 1 – pingesallika faasivoolude ühenduskoht L1 / L2 / L3; 2 – kinnituskoht; 3 – kaitsemaandus; 4 – mootorikaabel; 5 – X2: mootori ühenduskoht U / V / W / piduri ühenduskoht +R/-R; 6 – ohutuskontakt hädapeatuseks; 7 – kahendsüsteemi väljund; 8 – kahendsüsteemi sisend; 9 – analoog sisend; 10 – lüliti S11 analoog sisendi reguleerimiseks; 11 – mälukaardi pesa; 12 – analoog teabevahetus; 13 – klaviatuur; 14 – hetkeseisund LED. [25]

Läbi viidud arvutused näitavad, et antud 0,18kW asünkroonmootor ja inverter SEW EURODRIVE MC07B0008-2B1-4-00 võimsused võimaldavad juhtida antud konveierit. Inverter võimaldab kasutada pidurit, kuid töös kasutatud asünkroonmootoril puudub pidur.

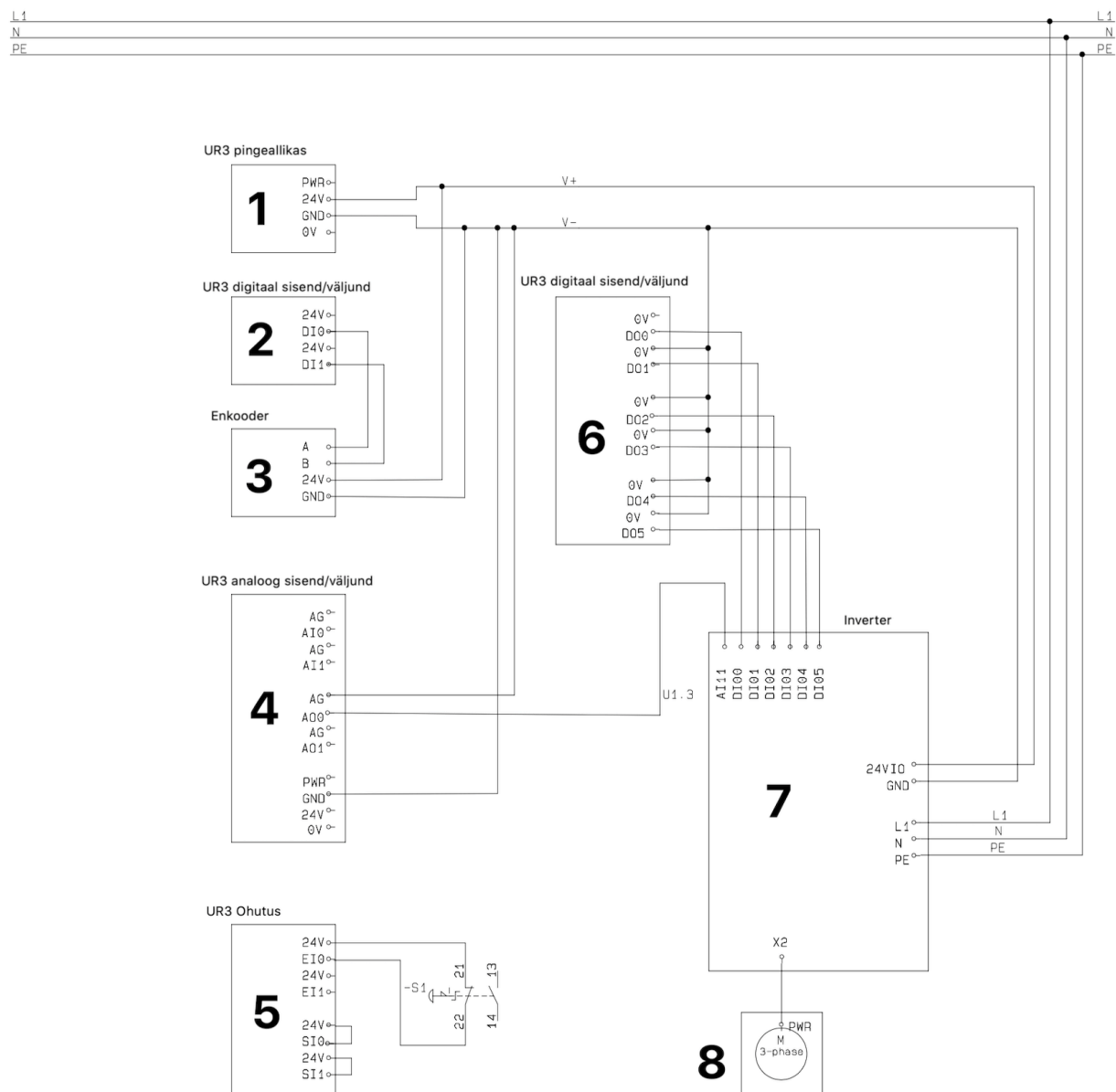
2.1.4 Elektriskeemi koostamine

Elektriskeemi koostamise eesmärk on juhtida koostööroboti UR3 tarkvaraga PolyScope konveierit. Uuriti inverter SEW EURODRIVE MC07B0008–2B1–4-00 kasutusjuhendit, inverteri terminali üksuse kujundust, et mõista inverteri ühendusi.

Leiti fikseeritud analoog kontrollpunktide tabel, kasutajajuhendis esitati millised signaalid juhtploki terminalil peaksid ühendatud olema kõrgeks või madalaks. Ühendati päripäeva n_{\max} pöörlemise töörežiimi. Vaadeldi asünkroonmootori andmeid korpuselt, ühendati U,V,W vastavalt inverteriga. UR3 manuaalist leiti, kuidas juhtida analoogse kiiruse sisendiga konveierit ja kuidas ühendada tööstuslik hädaseiskamislüliti. Esialgselt arvati, et inverter vajab 24 V, 12 W, 0,5 A töötamiseks, uuriti kas UR3 juhtploki viigud väljastavad vajaliku voolu ja pinge. Inverteril tagati 230 V vahelduv toitevõrgu pinge, X2 plokiga tagati vajalik elektripinge mootril. Inverter ühendati UR3 analoog sisend/väljundisse, millega võimaldati reguleerida konveieri kiirust. Inverteril ühendati kuus digitaal sisendit UR3 kontrolleri väljundiga. Kasutati nelja juhtmelist enkoodrit, mida eristati värvidega: valge – toitepinge 24 V, must – maandus, pruun – signaal A, punane – signaal B. Enkooder A ja B juhtmed ühendati digitaal sisendisse, millega loeti signaale hammasrihmalt, töötamiseks ühendati 24 V toitepingesse ja maandusesse. Turvalüliti ühendati 24V toitepinge ja EI0 UR3 kontrolleri ohutus plokki. Joonis 2.15 on esitatud joonis ühendamisest. Koostati elektriskeem PCSCHMATIC Automation 40 tarkvaras. Elektriskeem on esitatud joonisel 2.16.



Joonis 2.15. Skeemi katsetamine

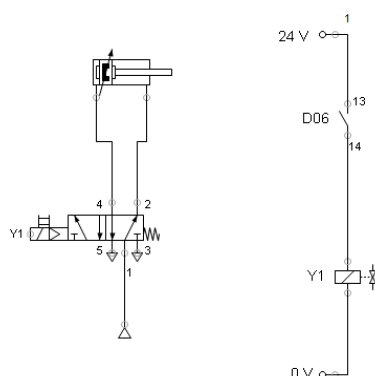


Joonis 2.16. Elektriskeem koostu ühendamiseks: 1 – UR3 24 V pingallikas; 2 – UR3 digitaal sisend/väljund viigud (1); 3 – enkooder; 4 – UR3 digitaal sisend/väljund viigud; 5 – UR3 turva sisend/väljund viigud; 6 – UR3 digitaal sisend/väljund viigud (1); 7 – inverter; 8 – asünkroonmootor.

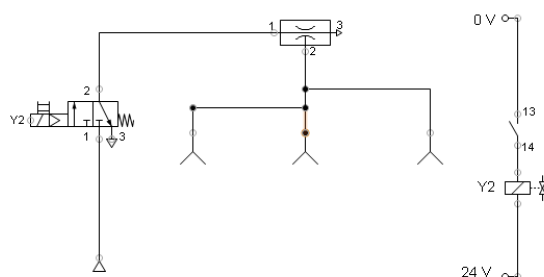
Skeemi katsetamisel selgitati, et skeem on korrektselt koostatud, võimaldades konveieriga koostööröboti õpperakku juhtida UR3 kontrolleriaga.

2.1.5 Paralleel haarats ja vaakum haarats

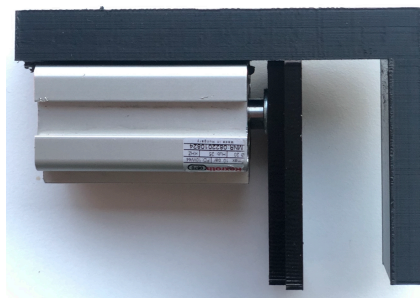
Projekteeriti paralleel haarats, mis hoiaks paralleelselt haaratseid, et saavutada suurem haardejõud, mille haardejõu suurus sõltuks kasutatavast rõhust. Projekteeriti vaakumhaarats, mille kriteeriumiteks: mass 0,15kg – 0,3 kg, 1 kg tõstevõime. Haarats paigaldatakse UR3 tööriista hoidikusse, haaratsi projekteerimisel arvestati massiga, seetõttu on otsustatud haaratsid valmistada 3D printimisel PLA materjalist, mille erikaal on 1,24 g/cc ja löögitugevus 7,5 kJ/m². Paralleel haarats projekteeriti pneumaatilise silindriga, mille ülesandeks on tekitada avamis ja sulgemis operatsioon paralleelhaaratsite vahel, haaramiseks ja vabastamiseks. Haaratsi jõud peab ületama haaratava objekti massi ja gravitatsiooni jõu korrutise olles pöördvõrdeline selle hõõrde teguriga. Arvestati ohutus teguriga. Haarats võimaldati juhtima UR3 kontrolliga, milleks pingestati Y1 solenoid mähis, lülitati 3/2 jaoturiga, millega tekitati õhuvool silindris, suruti haarats kokku. Lülitati UR3 kontrollil DO6 lahtisesse asendisse, millega kaotati Y1 vool. 3/2 klapp liigub algasendisse, ühenduse 1 ja 2 vahel kaob, silinder liigub suletud asendisse. Vaakum haarats projekteeriti sarnaselt paralleel haaratsile, kuid õhuvool tekitati läbi vaakum generaatori. Paralleelhaaratsi pneumaatika skeem on esitatud 2.17. ja vaakumhaaratsi 2.18. Prinditud prototüübid on esitatud joonistel: paralleel haaratsis 2.19. ja vaakum haaratsist 2.20.



Joonis 2.17. Pneumaatika ja elektriskeem paralleel haaratsile



Joonis 2.1.8. Pneumaatika ja elektriskeem vaakum haaratsile



Joonis 2.19. Paralleel haaratsi prototüüp



Joonis 2.20. 3D prinditud vaakum haaratsi prototüüp iminappadega

Paralleel haaratsi prototüübi valmimisel selgus, et haardepinnad on libedad, tuleb kaalutleda kasutada pindade katmist. Pindadele liimida erinevaid elastseid materjale, katsetada näiteks kummi, tekstiile, mis erinevad tiheduse ja omaduste poolest. Vaakum haaratsil 3D prinditud prototüübi probleemseks osaks loeti kere külge modelleeritud piklike õhukanaleid, mis vajavad katsetamist.

2.1.6 Konveieriga koostööroboti kasutamine

Konveieriga koostöörobotit kasutada tervisele ohutult. Kasutamisel veenduda, et ülekande osad oleks kaetud. Ühendamisel veenduda, et ei oleks lahtiseid ja isoleerimata juhtmeid. Häiringu tekkimisel kasutada hädaseiskamislüliti. Töomasina käsitlemisel tuleb lähtuda masina ohutuse seadusest.

3 LABORTÖÖD

3.1 Labortöö väljatöötamine

Labortööde välja töötamisel lähtuti konveieriga koostööroboti õpperakku kasutamise laiendamisega. Lahendamiseks antavate ülesannete tegemiseks genereeriti ideesid. Sooritati kaks põhjalikku labortööd, mis põhineti antud lõputööl. Väljatöötatud laborid esitatud lisas B.

3.1.1 Labortöö 1 ideede genereerimine

Töö eesmärk on tutvumine UR3 tööpõhimõttega, tutvumine Polyscope tarkvaraga, haaratsite katsetamine.

1. Koostöörobot UR3 manuaaliga tutvumine;
2. UR3 kontrolleri tutvumine;
3. Haaratsite elektriskeemi ühendamine;
4. UR3 tarkvaras kirjutamine;
5. Koostööroboti käivitamine, programmeerimine;
6. Haaratsite ühendamine;
7. Haaratsite katsetamine: Käärhaarats, vaakumhaarats, paralleelhaarats;
8. Erinevate haaratsite eeliste ja probleemide analüüsimine.

3.1.2 Labortöö 2 ideede genereerimine

Labortöö eesmärk on käivitada konveieriga koostööroboti õpperakk, liikuvalt konveierilt haaramise tööpõhimõttega.

1. Tutvuda inverteri kasutusjuhendiga;
2. Seadmetega tutvumine;
3. Sobivate ühenduste loomine kontrollerris;
4. Andmete võrdlemine seadeldiste vahel;
5. Skeemi koostamine;
6. Seadmete ühendamine.

3.1.3 Edasiarenduste ettepanekud konveieriga koostööroboti õpperakule labortööde arendamiseks

Konveieriga koostööroboti õppeakule oleks võimalik arendada masinnägemine, milleks tuleb sooritada, kaamera valik, AI treenimine, andmeedastus testimine, roboti programmeerimine. Esmalt tuleb teha kaamera valik, seejärel kinnitada robotrandme külge, tagades kaamera piisava vaatenurga. Arvutada tööriista keskpunkt. Kaamerate valiku kriteeriumid on ohutus, rakendus, kaal, resolutsioon, andme edastus. Järgmiselt tuleb treenida AI, robot seadistada suutlikkusele detailist kõrge resolutsiooniga pildid teha, tarkvaraga analüüsimiseks. Roboti programmeerimine, andmeedastuse testimine, kust andmed edastatakse koostöörobotilt serverisse, serverist vastavasse töötlemistarkvarasse. [26]

Kaalutleda valmistada erinevaid haaratseid, toodete mitmekülgseliseks haaramiseks, katsetades erinevaid materjale, erinevate rõhkudega, arvutada ohutus faktoreid, haaratsi koost, mis koosneb mitmest haaratsist mitmekülgsimate laborite valmistamiseks.

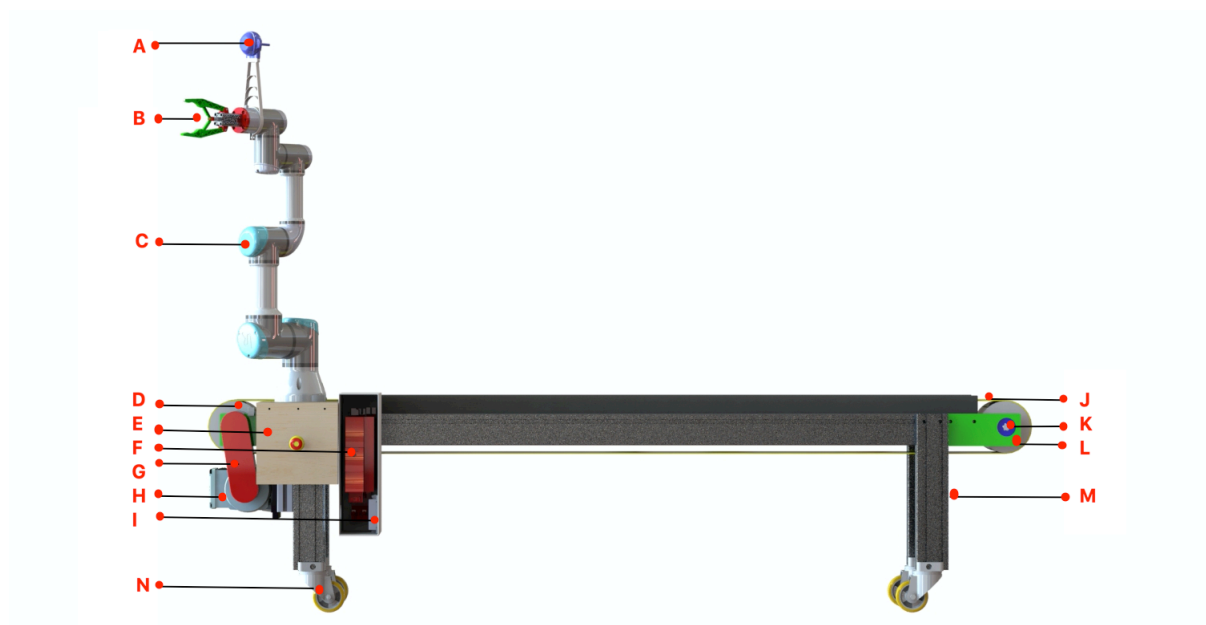
Konveieri arendamisel suurendada UR3 haarde ulatusest, kasutades samm – mootoreid lineaarjuhikul. Konveieri haardu ulatuse suurendamisel võimaldatakse teha laboreid CNC töötlemiskeskuse ja konveieri koostöötamisel, asetades toorikuid või detaile.

4 PROTSESSI JA TULEMUSTE ARUTELU

4.1 Konveieriga koostöörobotraku tulemused

4.1.1 Konveieriga koostöörobotraku valmistamine

Töö käigus projekteeriti koost, mis koostati konveieri alamkoostust, UR3 alamkoostust, haaratsite alamkoostust. Konveieri alamkoost projekteeriti, raamist, veorullist ja raami kinnitusest, asünkroonmootorist, veovõllidest, hammas rihmast, hammasrihma vedavatest hammasratastest, hammasrihma korpusest, veolindist ja piduritega ratastest. UR3 alamkoost projekteeriti, UR3 baas kinnitusest, UR3 kinnituslauast, laua toest, kaamerast, kaamera kinnitusest. Haaratsi koost projekteeriti paralleel haaratsist, vaakum haaratsist, haaratsi kinnitus flantsist. Isomeetiline joonis on kujutatud joonisel 4.1.



Joonis 4.1. Roboti koost: A – kaamera; B – haarats; C – UR3; D – veorull; E – ohutuspaneel; F – inverter; G – hammasrataste paneel; H – asünkroonmootor; I – pingallikas; J – veolint; K – veovõll; L – kinnitus; M – tugijalg; N – piduritega rattad.

Konveieriga koostööroboti õpperaku prototüübil on kinnitatud konveieri raam, veorullid, raami kiirkinnitused, asünkroonmootor, veovõllid, hammasrihm, hammasrattad ja hammasrihma korpus. UR3 alam koostu ei jõutud prototüübile kinnitatud. Valmistatud detailid toodeti treimise, freesimise, printimise, lõikamise, puurimise, keermestamise, saagimise, lihvimise tehnoloogiat kasutades.

Lõputöö käigus toodeti, paralleel haarats, vaakum haarats, tööriista kiirkinnitus 3D printimisel PLA plastikust. Treimisel toodeti kaks veorulli, freesimisel toodeti neli alumiinium veorulli kinnitust. Laserpingis toodeti pöörde enkooderi kinnitus. Puuriti M4, M6, M9 avad koostu kinnitamiseks. Haaratsi kiirkinnitus, paralleel haarats, vaakum haarats puuriti kinnitus kohad, seejärel keermestati ning viimistleti lihvides.

Lõputöö käigus valmistati elektriskeem UR3 24 V pingeallika, UR3 digitaal sisend/väljundi, UR3 analoog sisend/väljundi, UR3 turva sisend/väljundi, enkooderi, inverteri ja asünkroonmootori ühendamiseks. Skeemi katsetamisel selgitati, et skeem on korrektselt koostatud, võimaldades konveieriga koostööroboti õpperakku juhtida UR3 kontrolliga.

Toodeti kaks UR3 haaratsit, vaakum haarats, paralleelhaarats, koos vajaliku pneumaatika ja elektriskeemiga. Katsetusi ajapuuduse tõttu ei sooritatud.

Labortööde välja töötamisel lähtuti konveieriga koostööroboti õpperaku kasutamise laiendamisega. Sooritati kaks põhjalikku labortööd, mis põhineti antud lõputööl. Esimese labortöö eesmärk on tutvumine UR3 tööpõhimõttega, tutvumine Polyscope tarkvaraga, haaratsite katsetamine. Teise labortöö eesmärk on käivitada konveieriga koostööroboti õpperakk, liikuvalt konveierilt haaramise tööpõhimõttega.

Konveieriga koostöörobotirakk on faasis, kus sellega on märksa rohkem võimalusi, mistõttu loob ka lisandväärtust tudengitele. Samuti tuleb süsteemi modifitseerida, mistõttu ettepanek õppeprotsessis robotit parendada kogu õppetegevuse jooksul.

4.1.2 Konveieriga koostöörobotraku probleemid

Veorulli katsetamisel selgus, et veorullil tekib radiaalne viskumine konveieri kiirusel 0,25 m/s. 25 minutilisel töörežiimil konveieri testimisel kaotas rihm piisava pingsuse. Tuleb kaalutleda piisava jäikuse tagamist, pingutussüsteemi modifitseerimisega ja lisades 80 x 40 alumiinium profiili, mootori kinnituse ja alumiinium tugijala vahele. Raami ja veorulli vaheline kinnitusel avastati, et veorulli laagripind ei toeta mõlemalt poolt vastu tugiseina täielikult. Alumiinium raami monteerimisel, mis koosneb kahest eraldiseivast profiilist, mida kinnitatakse 73,5 mm alumiinium profiiliga tuleb lõigata mõõdule 73 mm. Paralleel haaratsi haardepinnad on libedad, selleks on vajalik võimaldada pindade katmine hõõrdejõu parandamiseks kummi või tekstiiliga. Vaakumhaaratsil valmimisel kaheldi raamist läbiva õhupidavuses. Tuleb kaalutleda, raamisiseseid õhuvoolikuid, et vältida õhu lekkeid.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö raames valmistati töötav konveieriga koostöörobotrakk. Valmistatud masina abil on võimalik anda lisa võimalus õppeaine Robotitehnika TE.0959 läbiviimiseks, seeläbi õpilaste kogumuste suurendamine.

Õppaine Robotitehnika lisavõimaluse loomiseks toodeti paralleel haarats, vaakum haarats, tööriista kiirkinnitus, veorull, veovõll, pöörde enkooderi kinnistus, UR3 kinnituslaud, laua tugi, seiskamisnupu alusplaat, raami ja veorulli ühendav kinnitus, tugijalad, alumiinium raam. Lõputöö käigus valmistati elektriskeem koostu elektriliste komponentide toimimiseks.

Töö käigus ilmnas, et koostu detailid pole piisava täpsusega, et sellega saavutada sujuv töörežiim. Põhjuseks võib pidada kasutatud materjalide ebatäpsust, töötlemiskvaliteeti. Lõputöö konveier jälgimissüsteemi katsetamisel selgitati, et skeem on korrektselt koostatud, võimaldades konveieriga koostööroboti õpperakku juhtida UR3 kontrolleriiga.

Katsetulemuste põhjal võib töö lugeda õnnestunuks, sest valmistatud masina ja seadeldiste abil on võimalik anda lisa võimalus õppeaine Robotitehnika põhikursuse läbiviimiseks. Põhjalikuma hinnangu andmiseks tuleb läbi viia täiendavad katsetamised, aga mida polnud projektimahu suurusest tekkinud ajapuudusest võimalik teostada.

Töö autor hindab kõrgelt konveieriga robotraku koostamisel saadud kogemust, mille tootmise käigus võimaldati kasutada erinevaid tehnoloogiaid. Samuti tuleb konveieriga koostöörobotrakku prototüüpi modifitseerida, mistõttu ettepanek õppeprotsessis robotit parendada kogu õppetegevuse jooksul.

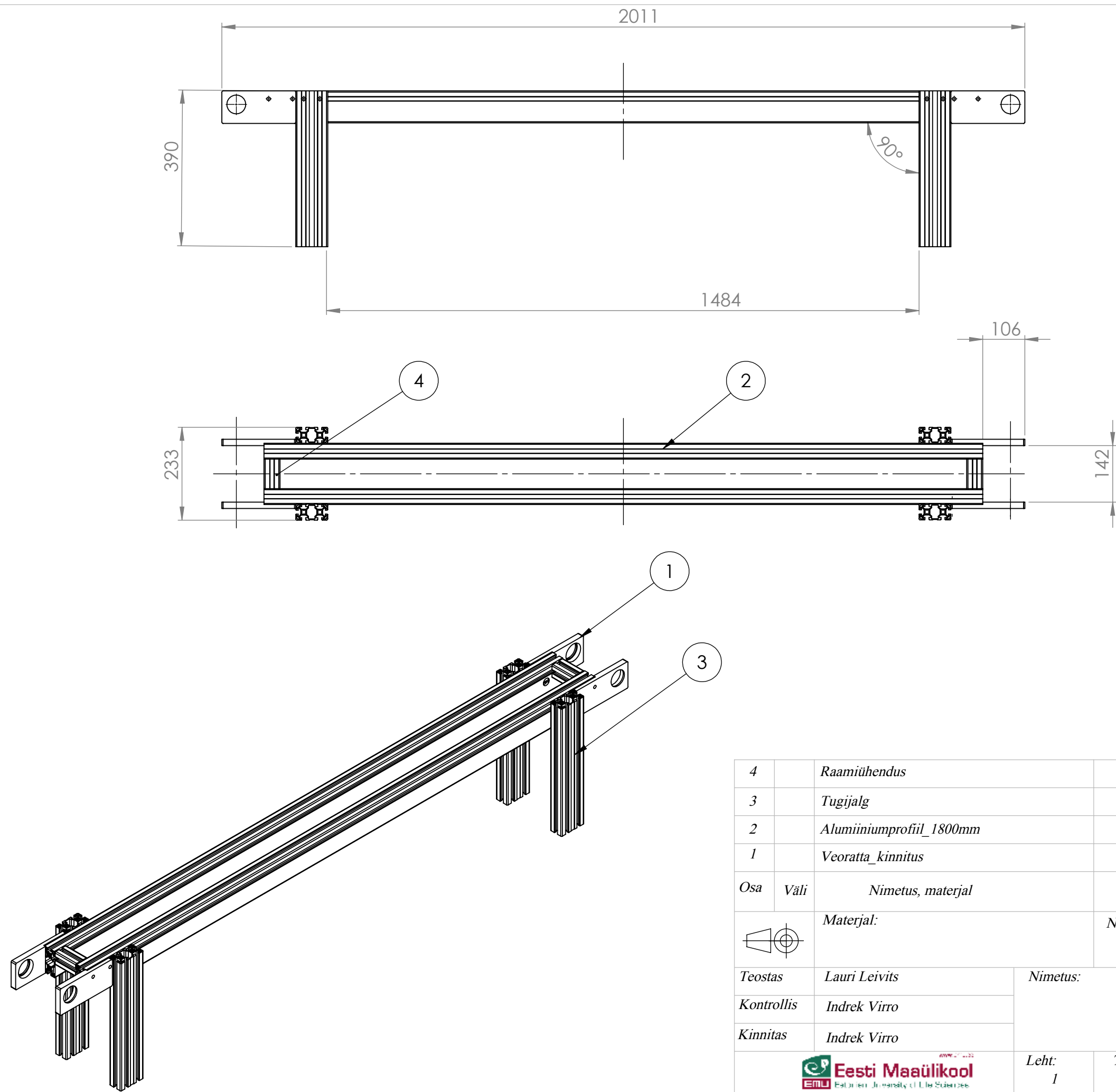
KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] E. Reiljan, “Klaus Schwab „The Fourth Industrial Revolution” Portfolio Penguin, 2017.” [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.eas.ee/klaus-schwab-fourth-industrial-revolution-portfolio-penguin-2017/>.
- [2] G. P. R. J. (ed.). Taylor, *The Robot Gargantua. Gargantua: Constructor Quarterly*. 1995, lk 1-10.
- [3] “Here come the Cobots,” *Industry Week*. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.industryweek.com/automation/here-come-cobots> [Vaadatud: 12 - Nov- 2019].
- [4] “INFOGRAPHIC: Universal Robots illustrates the history of the ‘cobot.’” [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.controldesign.com/articles/2016/infographic-universal-robots-illustrates-the-history-of-the-cobot/> [Vaadatud: 14 - Nov - 2019].
- [5] T. Frank, “42 companies empowering robots and humans to work side-by-side,” 2017. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.therobotreport.com/42-companies-empowering-robots-and-humans-to-work-side-by-side/> [Vaadatud 29 - Veb - 2020].
- [6] Universal Robots, “Service Manual UR3,” *Univers. Robot.*, no. January, lk. 31–37, 2003.
- [7] S. El Zaatar, M. Marei, W. Li, and Z. Usman, “Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 116, no. June, lk. 162–180, 2019, doi: 10.1016/j.robot.2019.03.003.
- [8] Universal Robots A/S, “UR3 User Manual,” *Univers. Robot. A/S*, lk. 43–80, 2013.
- [9] “What are the 4 Types of Collaborative Robots?,” 02/12/2019. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/What-are-the-4-Types-of-Collaborative-Robots/140> [Vaadatud: 30 - Mär - 2020].
- [10] “Industrial Robots: Robot Investment Reaches Record 16.5 billion USD.” [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-investment-reaches-record-16.5-billion-usd> [Vaadatud: 12 - Nov - 2019].
- [11] “Collaborative Robots Market To \$4.28 Billion 2023.” [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://cobotsguide.com/2017/09/collaborative-robots-market-to-4-28-billion-2023/> [Vaadatud: 26 - Nov - 2019].
- [12] T. Frank, “42 companies empowering robots and humans to work side-by-side,” 2017. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.therobotreport.com/42-companies-empowering-robots-and-humans-to-work-side-by-side/> [Vaadatud: 16 - Mai - 2020].
- [13] RobotWorx, “Grippers For Robots,” 2020. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.robots.com/articles/grippers-for-robots> [Vaadatud: 28 - Veb - 2020].
- [14] K. Jüri, Hendre Enn, Herranen Henrik, Karjust Kristo, Kers Jaan, *Mehaanikainseneri*

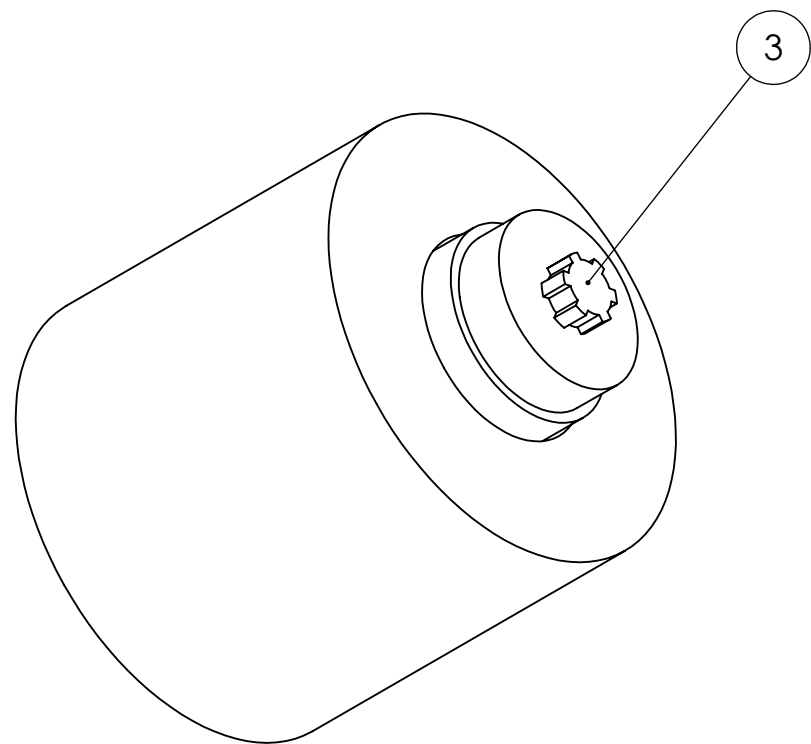
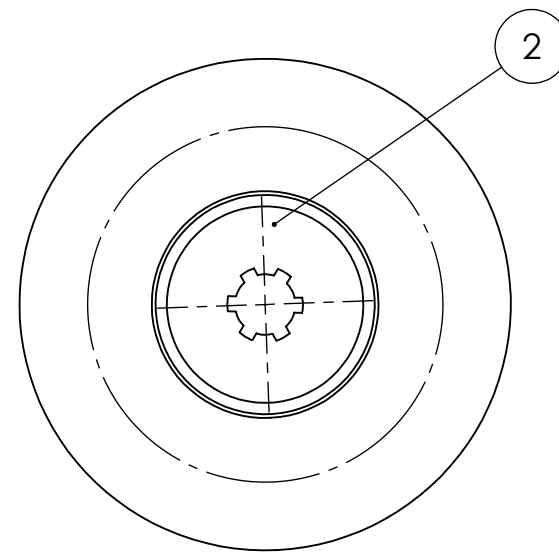
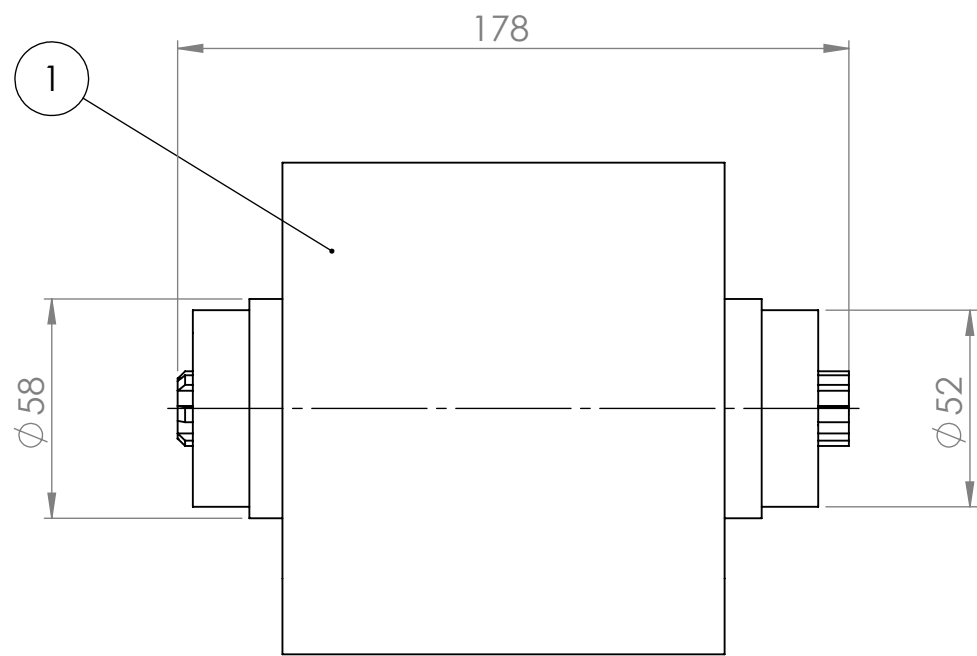
- käsiraamat*. Tallinn: TTÜ kirjastus, 2015, lk 420.
- [15] B. Samuel, "Robot gripper: How much does it cost?," 2016. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://blog.robotiq.com/bid/58812/Robot-gripper-How-much-does-it-cost> [Vaadatud: 30 - Apr - 2020].
 - [16] A. M. Lobov Andrei, Pastukhov Artem, "No Title," *Methodology for implementing universal gripping solution for robot application*, 2019. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: http://www.kirj.ee/public/proceedings_pdf/2019/issue_4/proc-2019-4-413-420.pdf [Vaadatud: 30 - Mai - 2020].
 - [17] "Universal Robot Handling-grippers." [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.universal-robots.com/plus/handling-grippers/> [Vaadatud: 28 - Veb - 2020].
 - [18] and H. M. J. Eric Brown, Nicholas Rodenberg, John Amend, Annan Mozeika, Erik Steltz, Mitchell R. Zakin, Hod Lipson, "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material," 2010. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.pnas.org/content/107/44/18809/> [Vaadatud: 5 - Mai - 2020].
 - [19] V. Indrek, "Metoodilised võimalused tööstusroboti kasutamiseks õppetöös," Magistritöö, The Estonian University of Life Sciences, 2017, lk 42 - 43.
 - [20] M. Patrick, "Conveyors," in *Conveyors application, selection, and integration*, CRC PRESS, 2009, lk 183.
 - [21] W. James, "Top three problems that can bring your conveyor to a halt," 2017. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.metso.com/blog/mining/top-3-problems-that-can-bring-your-conveyor-to-a-halt/> [Vaadatud: 1- Mai - 2020].
 - [22] N. Kate, "Five conveyor trends — including new materials, drives, and pallet-carrying variations," 2018. [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.motioncontroltips.com/top-five-conveyor-trends-including-new-materials-drives-pallet-carrying-variations/> [Vaadatud: 1- Mai - 2020].
 - [23] M&C, "10 Belt Conveyor Types & 5 Types of Conveyor Belt Materials." [Veebimaterjal]. Kättesaadav: <https://www.beidoou.com/construction/belt-conveyor-types.html> [Vaadatud: 4 - Mai - 2020].
 - [24] Forbo Siegling GmbH, *Siegling prolink modular belts*. 2020, lk IV 8 - IV13.
 - [25] SEW-EURODRIVE GmbH, "System Manual SEW EURODRIVE," lk. 203–210, 2005, doi: 10.1109/SysCon.2014.6819252.
 - [26] W. E. Leidenkrantz, Axel, "IMPLAMENTATION OF MACHINE VISION ON A COLLABORATIVE ROBOT," University of SKÖVDE, 2019, lk 1 - 35.

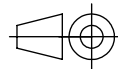

LISAD

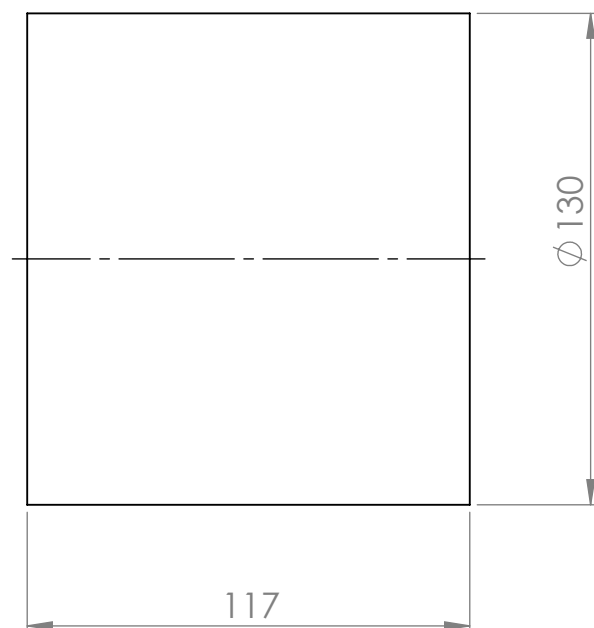
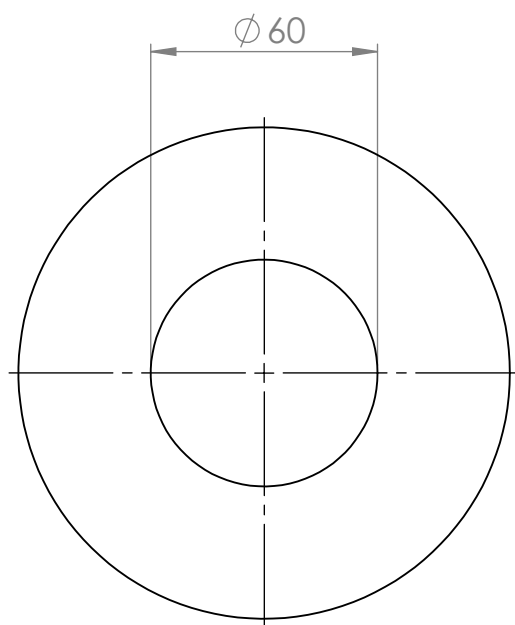
Lisa A

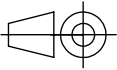



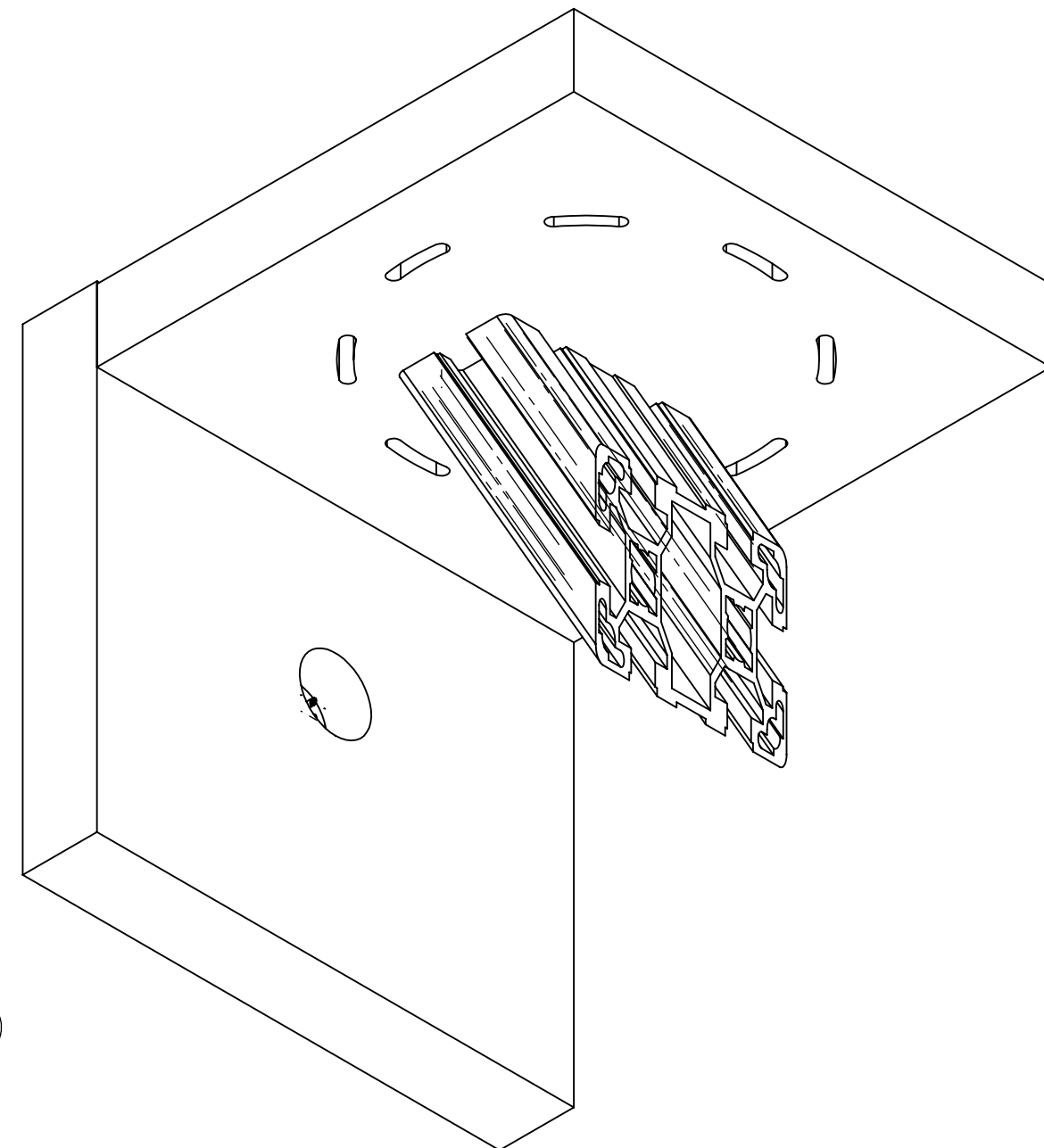
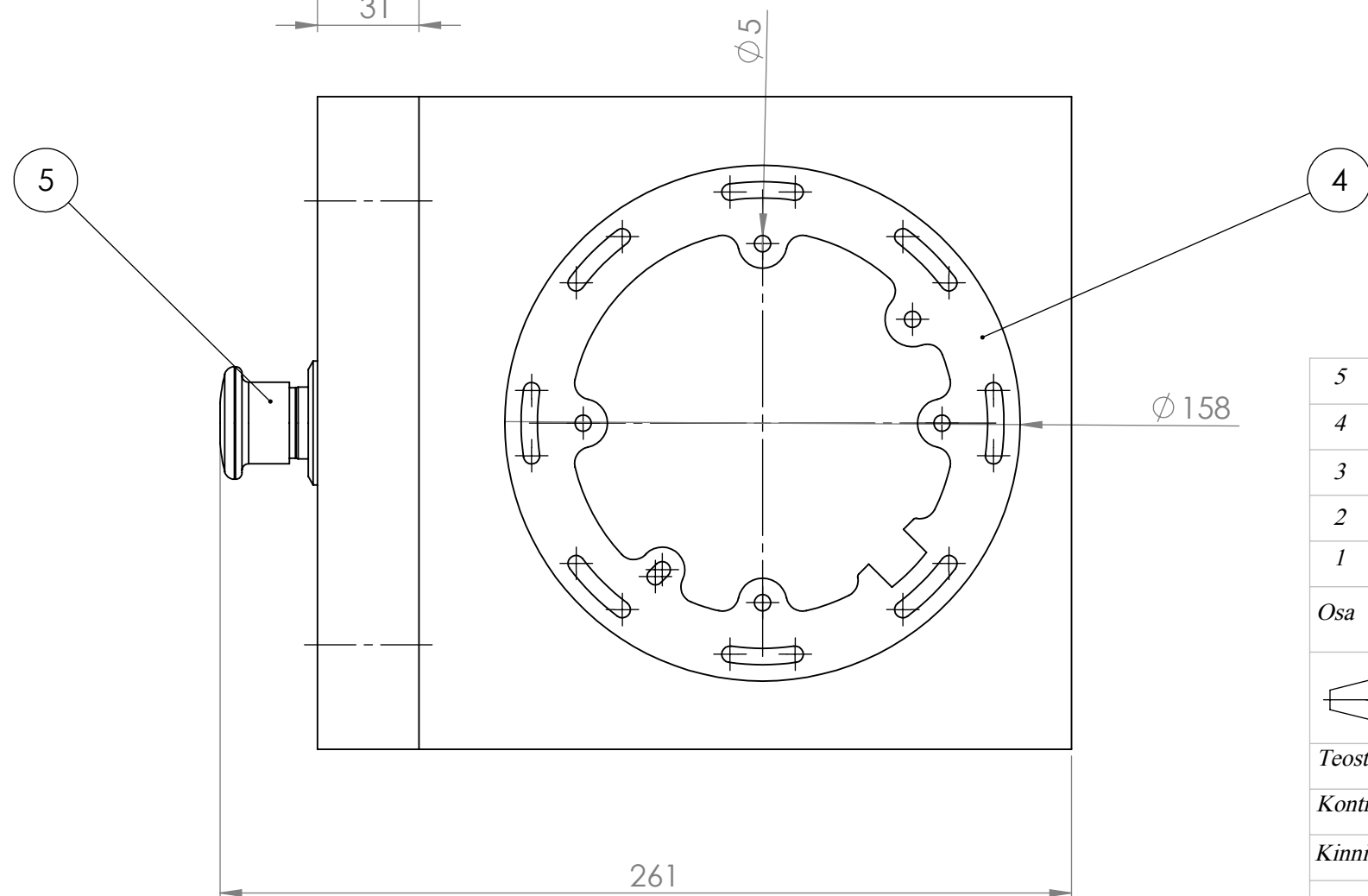
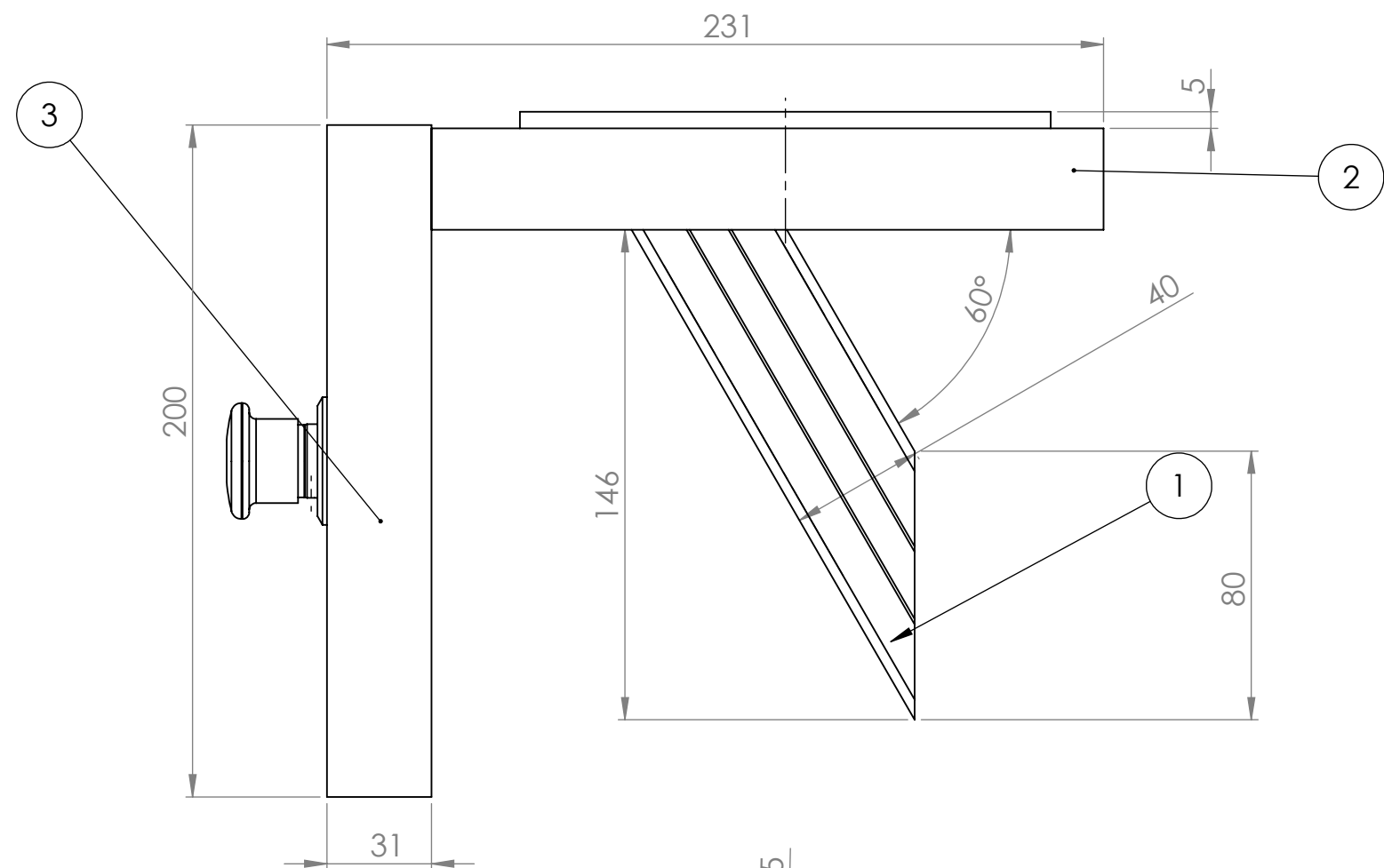
4		Raamiühendus	Modular assembly tech PG40	2	
3		Tugijalg	Modular assembly tech PG40	4	
2		Alumiiniumprofiil_1800mm	Modular assembly tech PG40	2	
1		Veoratta_kinnitus	TN 20 / 150203 A 00 01 D	4	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass: 16,8 kg	Mõõt: 1:10
Teostas	Lauri Leivits	Raami koostejoonis			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitus	Indrek Virro				
		Leht: 1	Tähis: TN 20 / 150203 A 00 00 K		



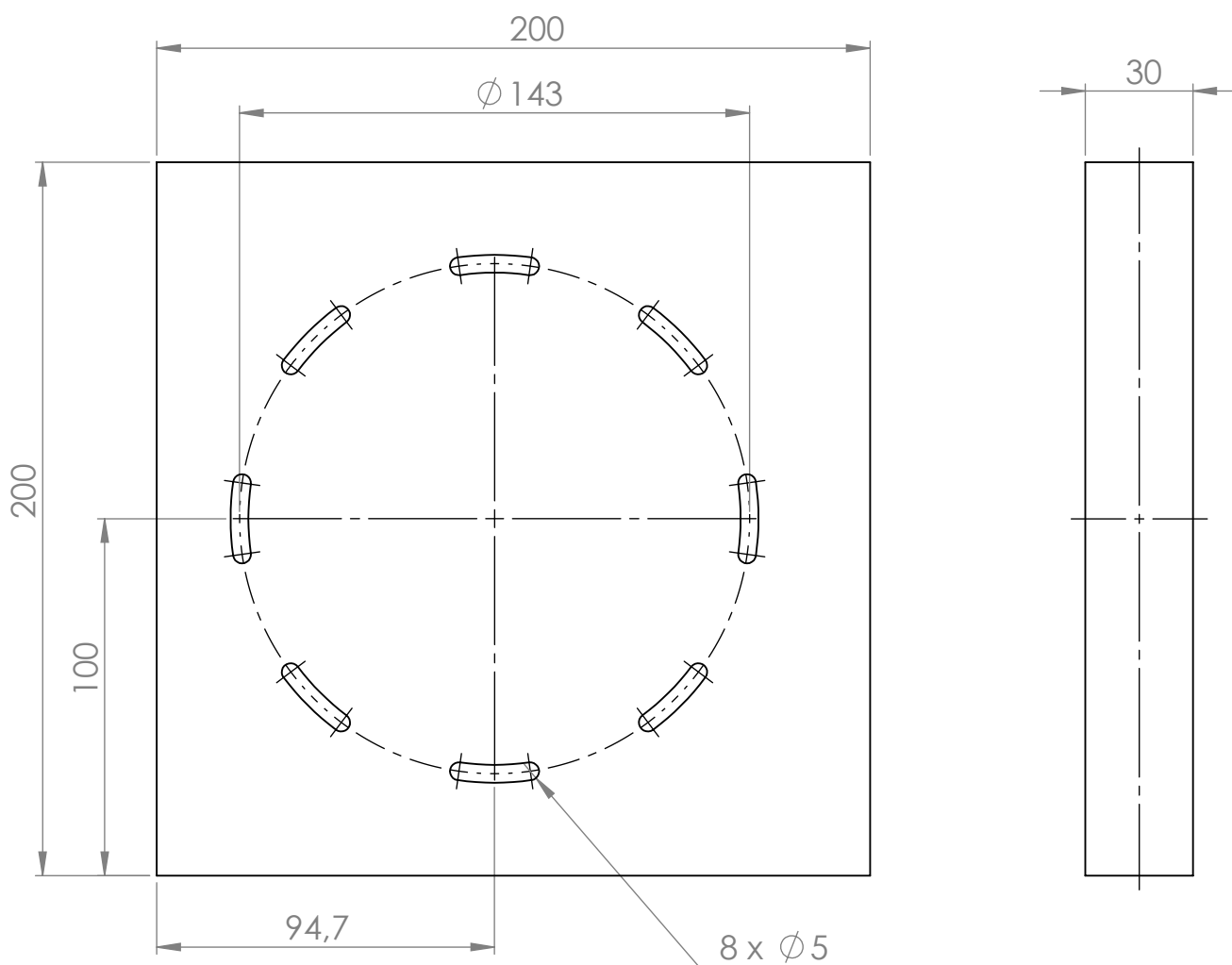
3		Veovõll	DIN 14 - KW 16 x d 20 x l C45	2	
2		Laager	KBC S20SZ	4	
1		Veoratas	TN 20 / 150203 A 01 01 D	2	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
	Materjal:		Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass: 1,9 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Lauri Leivits		Nimetus: Veoratta koostejoonis		
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
			Leht: 1	Tähis: TN 20 / 150203 A 01 00 K	

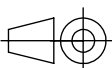



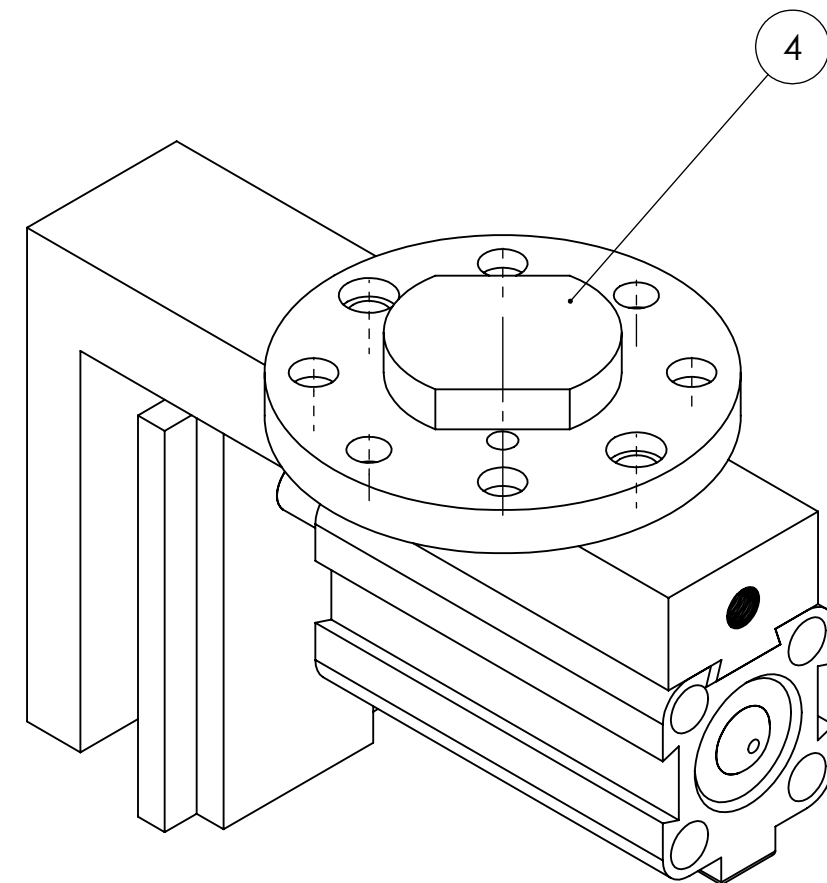
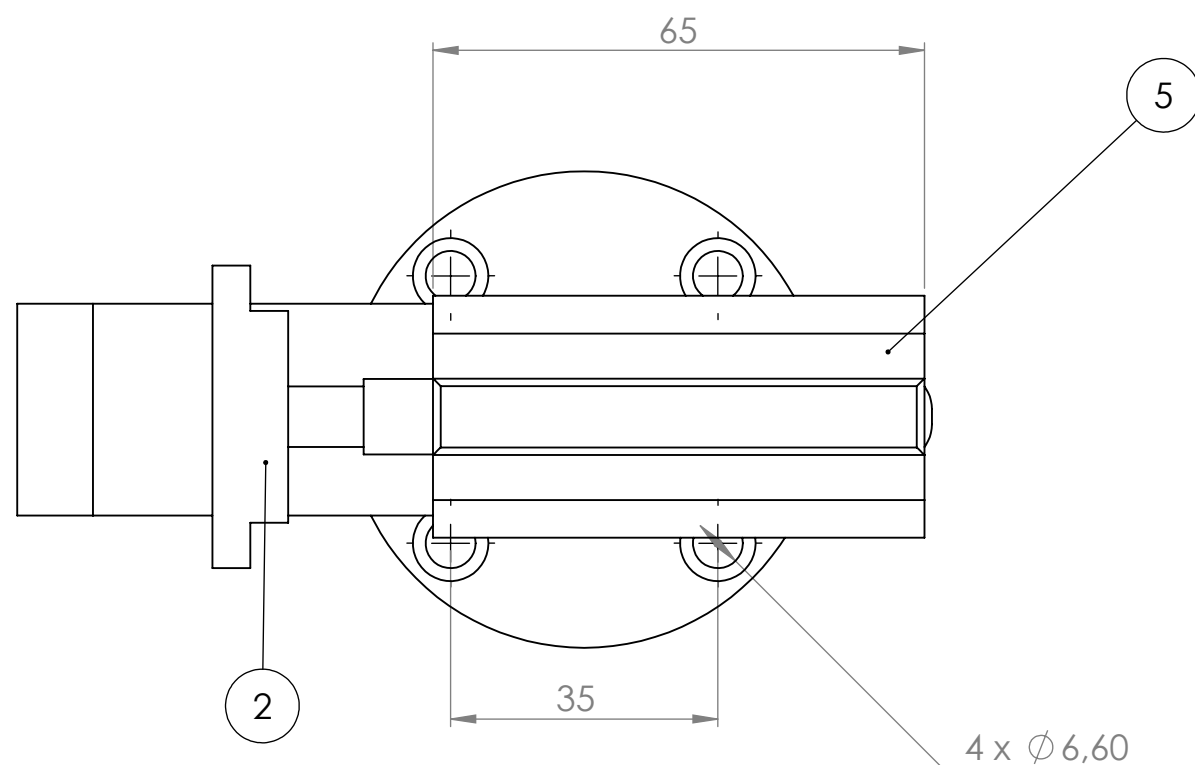
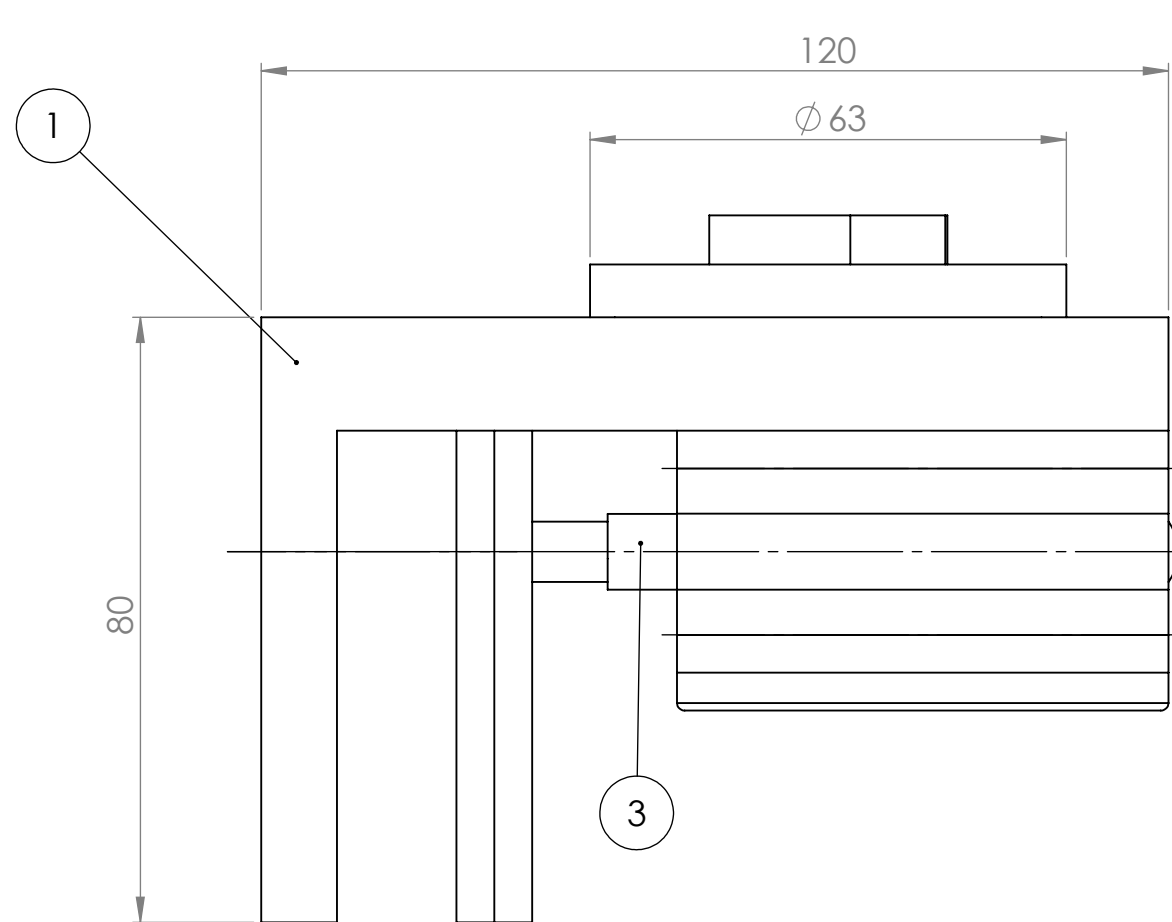
	Materjal: <i>Polüetüleen</i>	Näitamata piirhálbed: <i>ISO 2768 - m</i>	Mass: <i>1,1 kg</i>	Mõõt: <i>1:2</i>
Teostas	<i>Lauri Leivits</i>	Nimetus: <i>Veorull</i>		
Kontrollis	<i>Indrek Virro</i>			
Kinnitas	<i>Indrek Virro</i>			
 Eesti Maaülikool <small>Estonian University of Life Sciences</small> <small>arv. tehnikakolledž</small> <small>lett. tehnoloogikool</small>	Leht: 1/1	Tähis: <i>TN 20 / 150203 A 01 01 D</i>		

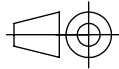



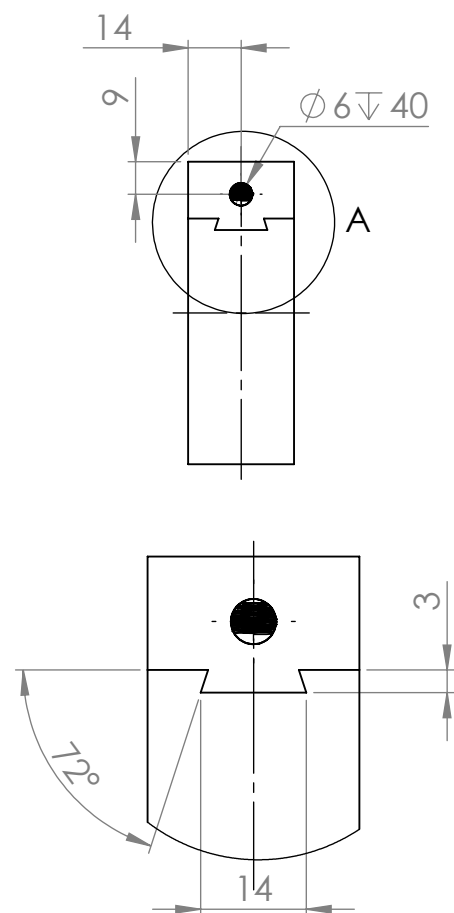
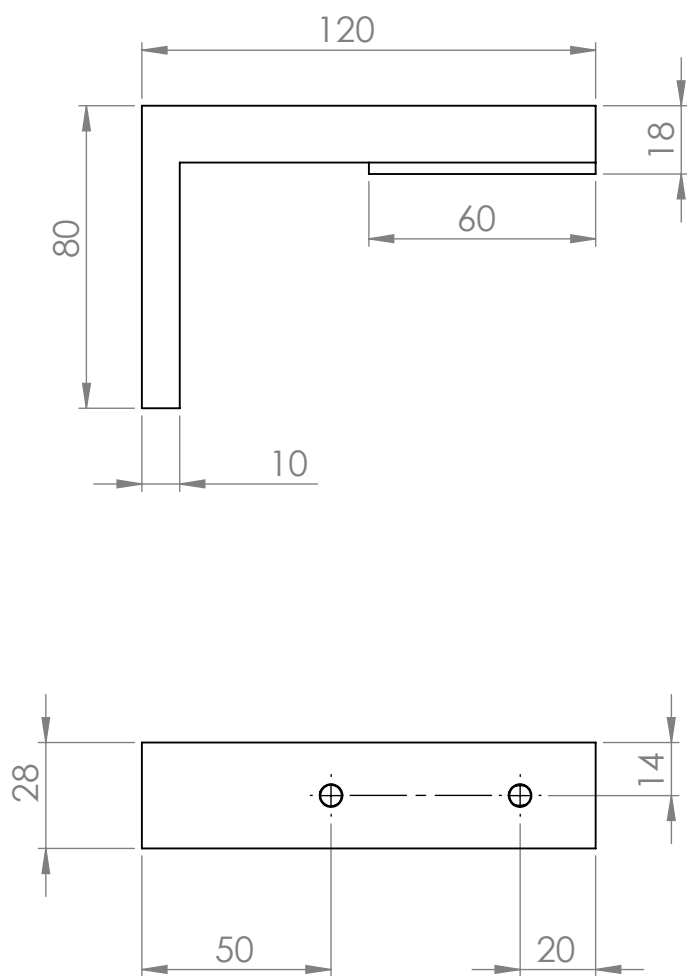
5		Hädaseiskamis_nupp	APEM A02ESI3B101IX0	1	
4		UR3_kinnitus_flants	TN 20 / 150203 A 02 04 D	1	
3		Seiskamis_laud	TN 20 / 150203 A 02 03 D	1	
2		UR3_laud	TN 20 / 150203 A 02 02 D	1	
1		UR3_TUGI	TN 20 / 150203 A 02 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
			ISO-2768-m	1,6 kg	1:2
Teostas	Lauri Leivits	Raami koostejoonis			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
		Leht:	Tähis:		
		1	TN 20 / 150203 A 02 00 K		



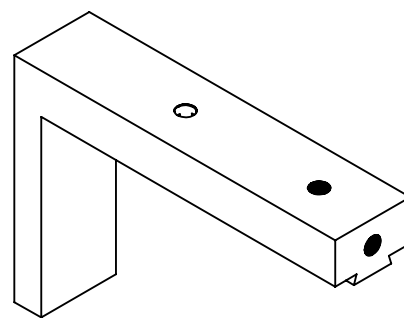
	Materjal: Tamm		Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - m	Mass: 0,57 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Lauri Leivits	Nimetus: UR3_Toetuslaud			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences arv. tehnikakolledž Agr. Technology College		Leht: 1/1	Tähis: TN 20 / 150203 A 02 03 D		

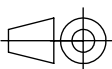



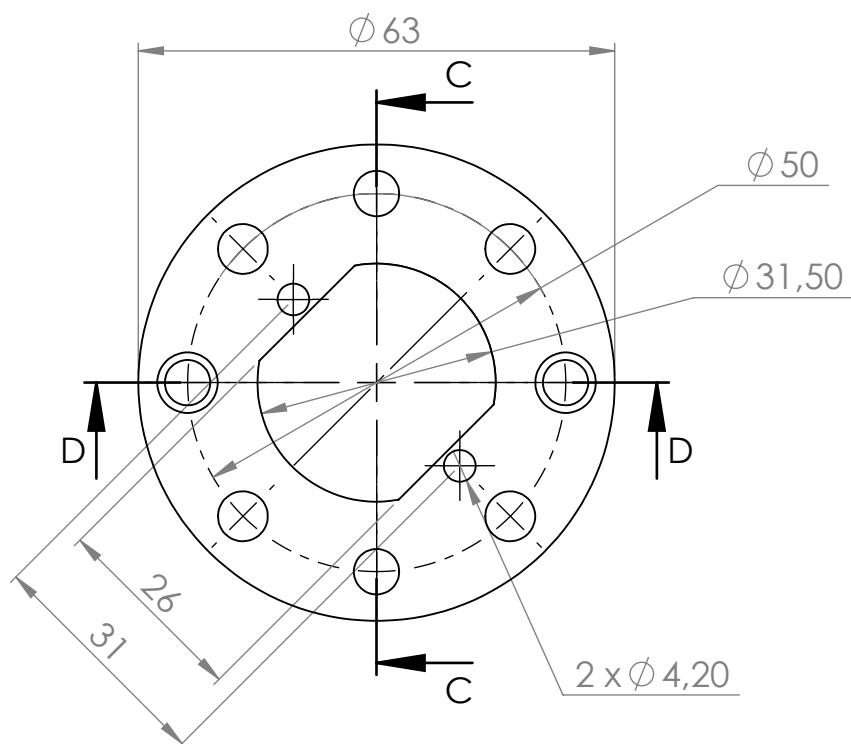
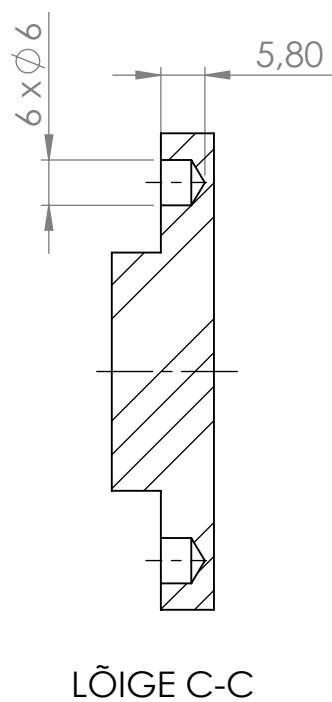
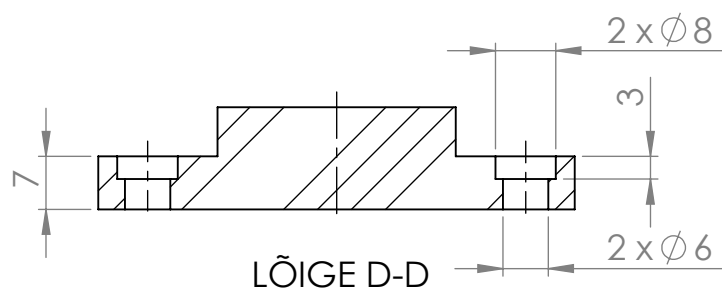
5		Silinder	Rexroth 0670	1	
4		Silindri_pea	Rexroth 0670	1	
3		Tööriista_flants	TN 20 / 150203 A 03 03 D	1	
2		Haaratsi_lükkur	TN 20 / 150203 A 03 02 D	1	
1		Haaratsi_raam	TN 20 / 150203 A 03 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO-2768-m	Mass: 0,2 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Lauri Leivits	Nimetus: Paralleel_haarats			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
		Leht: 1	Tähis: TN 20 / 150203 A 03 00 K		



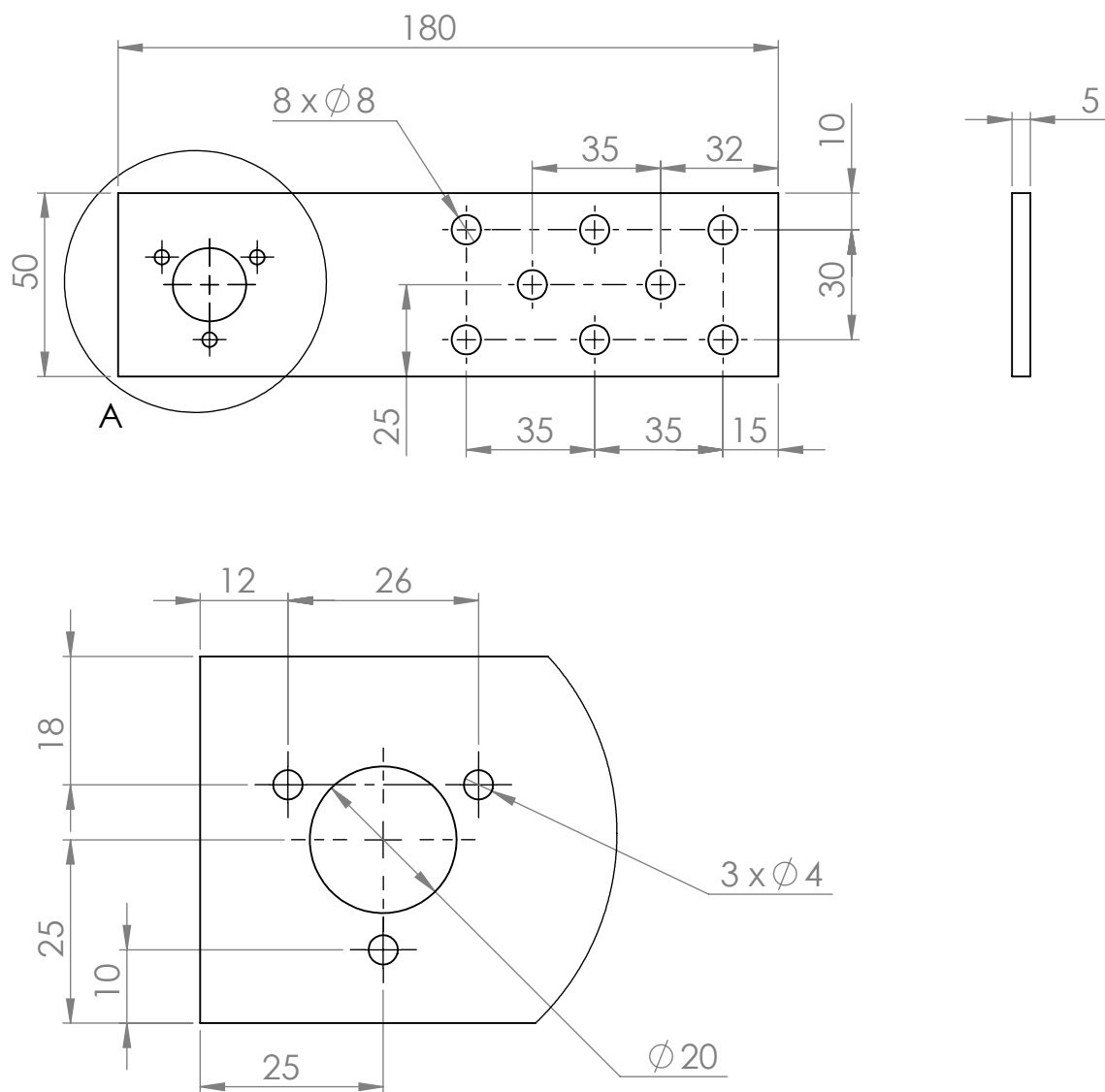
DETAIL A
MÕÕTKAVA 1 : 1



	Materjal: PLA		Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - m	Mass: 70,1 g	Mõõt: 1:2
Teostas	Lauri Leivits	Nimetus: UR3_Haarats_kere			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
 Eesti Maaülikool <small>Estonian University of Life Sciences</small> <small>arv. tehnika kool</small> <small>Int. Technology College</small>		Leht: 1/1	Tähis: TN 20 / 150203 A 03 01 D		

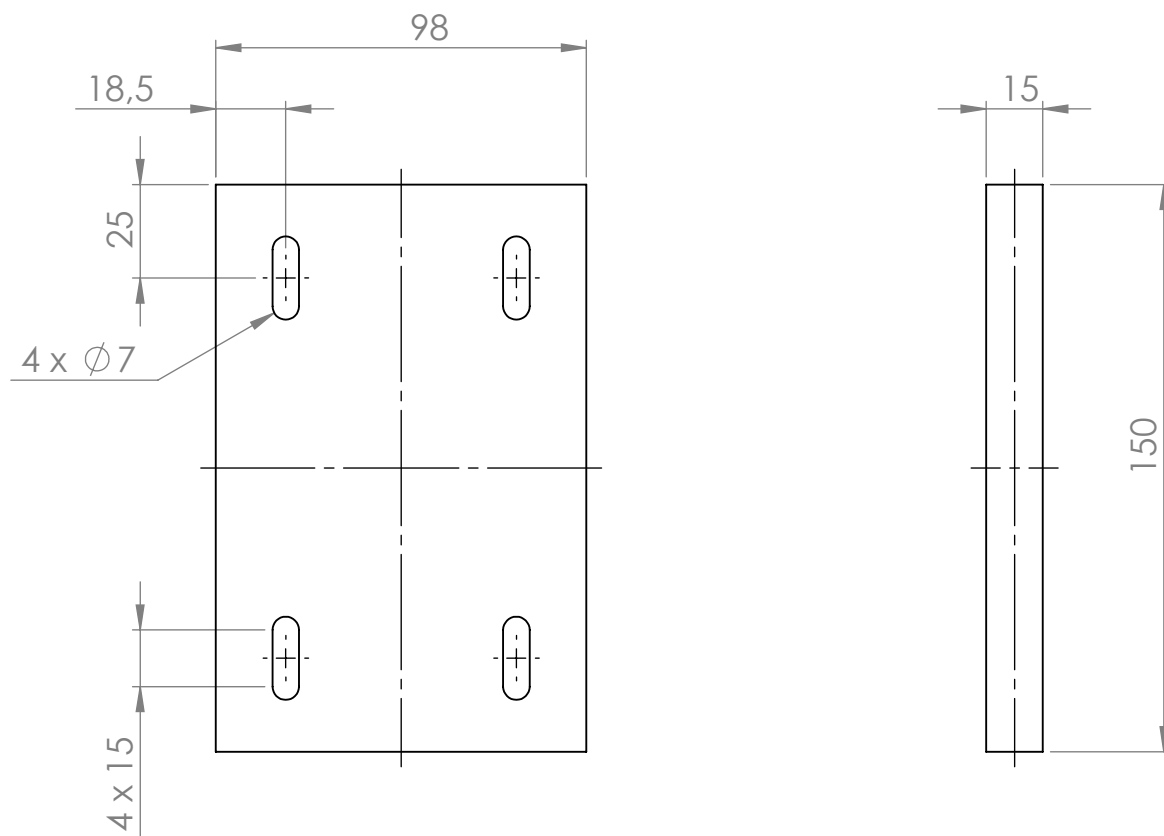


	Materjal: PLA		Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - m	Mass: 30 g	Mõõt: 1:1
Teostas	Lauri Leivits	Nimetus: UR3_Flants			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
		Leht: 1/1	Tähis: TN 20 / 150203 A 03 03 D		

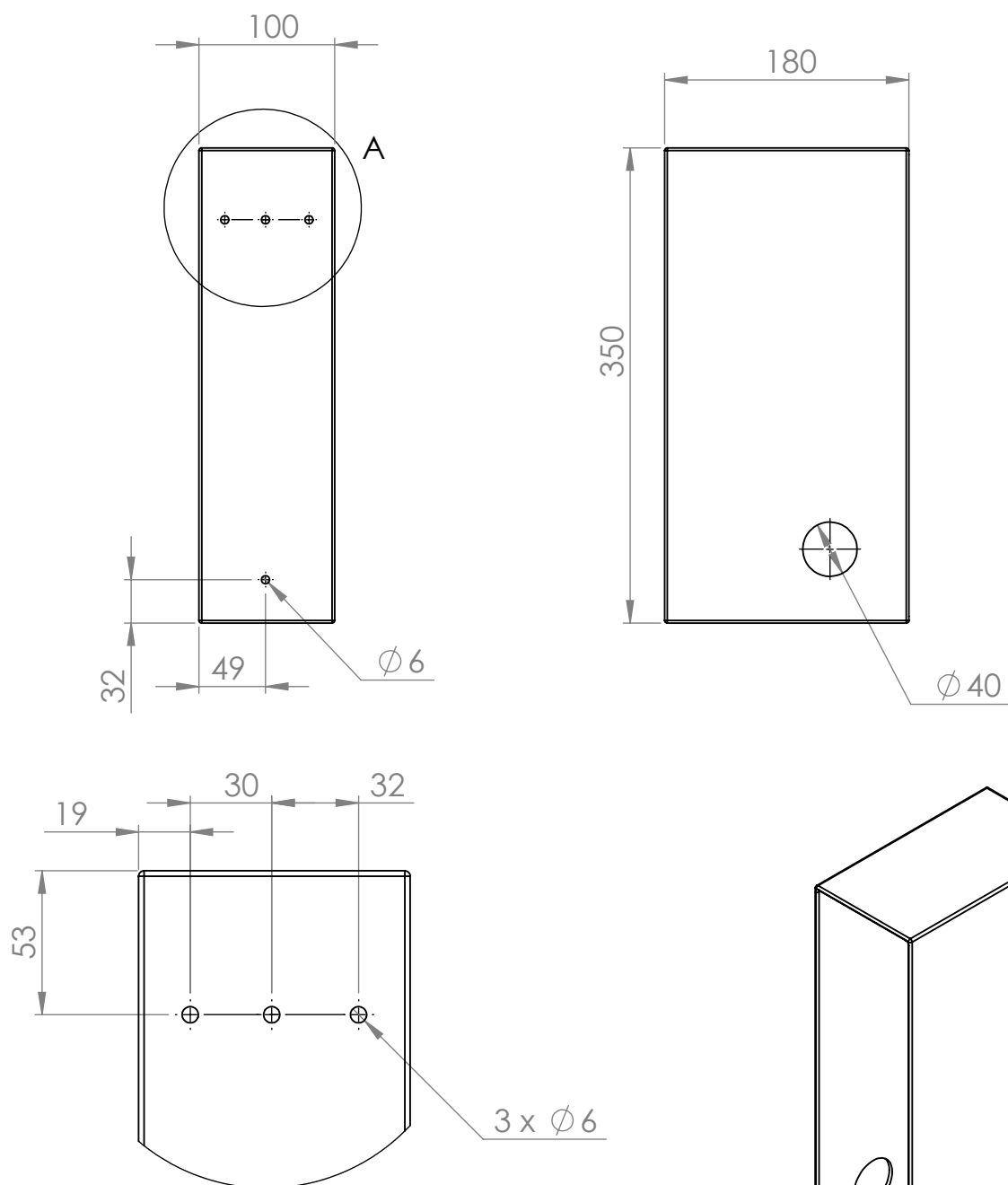


DETAIL A
MÕÕTKAVA 1 : 1

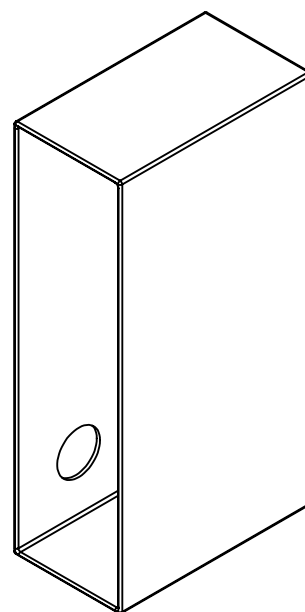
	Materjal: Akrüül		Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - m	Mass: 50 g	Mõõt: 1:2
Teostas	Lauri Leivits	Nimetus: Enkooderi_kinnitus			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
		Leht: 1/1	Tähis: TN 20 / 150203 A 04 00 D		

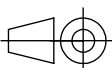



	Materjal: <i>Polüuretaan</i>		Näitamata piirhálbed: <i>ISO 2768 - m</i>	Mass: <i>259 g</i>	Mõõt: <i>1:2</i>
Teostas	<i>Lauri Leivits</i>	Nimetus: <i>Mootri_kinnitus</i>			
Kontrollis	<i>Indrek Virro</i>				
Kinnitas	<i>Indrek Virro</i>				
		Leht: 1/1	Tähis: <i>TN 20 / 150203 A 04 01 D</i>		



DETAIL A
MÕÕTKAVA 2 : 5



	Materjal: Akrüül		Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - m	Mass: 685 g	Mõõt: 1:5
Teostas	Lauri Leivits	Nimetus: Elektrikilp			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
 Eesti Maaülikool <small>Estonian University of Life Sciences</small> <small>arv. tehnika kool</small> <small>Int. Technology College</small>		Leht: 1/1	Tähis: TN 20 / 150203 A 06 00 D		

Lisa B

3.1.1 Labortöö 1

Töö eesmärk on tutvumine UR3 tööpõhimõttega, tutvumine Polyscope tarkvaraga, haaratsite katsetamine.

Labortöö praktilise osa sooritamiseks tuleb täita järgnevad sammud:

1. Tutvuda koostöörobot UR3 manuaaliga;
2. Käivitada UR3;
3. Programmeerimistarkvaraga Polyscope, joonistada ring, täht;
4. Ühendada elektriskeem haaratsi pingestamiseks digitaal sisendiga;
5. Ühendada haaratsi kiirhoidik M6 poltidega;
6. Katsetada haaratseid: Käärhaarats, vaakumhaarats, paralleelhaarats;
7. Mõista erinevate haaratsite eeliseid ja probleeme;
8. Uurida, arutleda uute haaratsite tehnoloogia põhimõtteid;
9. Teha tulemuste analüüs.

Labortöö teoreetilise osa täitmisele kuuluvad ülesanded:

1. Arutle, kuidas programmeerisid;
2. Joonesta plokk skeem;
3. Arutle paralleelhaaratsi, käärhaaratsi, vaakumhaaratsi eeliseid ja puuduseid;
4. Arutle uute haaratsite tehnoloogia põhimõtteid, kuidas töötavad, too näiteid.

3.1.2 Labortöö 2

Labortöö eesmärk on käivitada konveieriga koostööroboti õpperakk, liikuvalt konveierilt haaramise tööpõhimõttega. Sooritada töökäik. Teoreetiline osa on sooritud kui labortöö on vormistatud. Teoreetilisse ossa kuulub arutus: konveierite eesmärk, selgitada kuidas töötab lint konveier, koostööroboti eesmärk, selgitada kuidas töötab koostöörobot, kirjutatud kasutatud seadmed, koostatud katseskeem ja metoodika.

Töökäik järgnevalt:

1. Otsida internetist inverter SEW EURODRIVE MC07B0008– 2B1– 4-00 kasutusjuhend;
2. Leida inverteri terminali üksuse kujundus, mõista inverteri ühendusi;
3. Leida fikseeritud analoog kontrollpunktide tabel, mis näitab kõrgeid ja madalaid signaale;
4. Paigalda kõrgeid ja madalaid signaale (1,0) juhtmed päripäeva n_{max} režiimis inverteri terminali;
5. Vaadelda konveieri asünkroonmootori andmeid korpuselt;
6. Ühenda asünkroonmootor;
7. UR3 kasutusjuhendist leida, kuidas juhtida konveierilinti analoogse kiiruse juhtimissisendiga;
8. UR3 manuaalist leida skeem, side teiste masinatega suhtlemiseks sisend/väljundi abil;
9. UR3 manuaalist otsida skeem, kuidas ühendada tööstuslik seiskamisnupp;
10. Inverter vajab 24 V töötamiseks, leida kas UR3 väljund väljastab vajaliku voolu ja pinget (inverter MC07B0008– 2B1– 4-00, vajab DC 24 V, 12 W, 0,5 A) [VIIDE SEW EURODRIVE LK53]
11. Ühendada inkrementaalne enkooder digitaal sisendisse 0 – 3;
12. Koostada skeem;
13. Ühendada;
14. Koostöörobotiga võimaldatakse jälgida konveieri liikumist inkrementaal enkoodriga, mis väljastab pulse vastavalt pöördenurgale, edastades HTL väljundisse. Kasutades lineaarset konveierit, määratakse liini pöörlemissuund. Õpetatakse konveierile kaks punkti selgeks, kasutades tunnusjoont;
15. Arvestati kui palju 1 meetri kohta signaale genereeritakse enkoodril;

16. Arvutada antud rotaar inkrementaalne enkooder pulss;

17. Katseta;

Arvutati konveieril kasutatava inkrementaalne enkooderi pulss järgneva valemiga (UR3 kasutajajuhend, 2013)

$$\frac{Signaale}{1m} = \frac{Enkoodri signaalide arv \text{ ühel täispöördel}}{2 \cdot \pi \cdot Enkoodri ketta raadius[m]} \quad (1.1).$$

Labortöö praktiline osa on sooritatud kui:

- 1) tööstusliku seiskamise nupuga on võimalik seadet käivitada ja seisata (start/stop);
- 2) konveier töötab *Conveyor Tracking* tööpõhimõttel.

Lisa 5. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Lauri Leivits, sünniaeg (30.08.1996)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
„KONVEIERIGA KOOSTÖÖROBOTI ÕPPERAKK“

mille juhendaja on Indrek Virro,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, 18.05.2020

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)